

SKRIPSI

**PENGARUH LETAK PENGASARAN PERMUKAAN
DAN SAMBUNGAN LEWATAN TULANGAN BAMBU PADA KONSTRUKSI
BALOK LENTUR**



**Disusun Oleh :
HADI SURYA WIDAWANTO SUNARWADI
(13.21.134)**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2017**



SKRIPSI

**PENGARUH LETAK PENGASARAN PERMUKAAN
DAN SAMBUNGAN LEWATAN TULANGAN BAMBU PADA KONSTRUKSI
BALOK LENTUR**



**Disusun Oleh :
HADI SURYA WIBAWANTO SUNARWADI
(13.21.134)**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

**PENGARUH LETAK PENGASARAN PERMUKAAN DAN SAMBUNGAN
LEWATAN TULANGAN BAMBU PADA KONSTRUKSI
BALOK LENTUR**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil (S-I)
Institut Teknologi Nasional Malang

Disusun Oleh :
HADI SURYA WIBAWANTO SUNARWADI
(13.21.134)

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Ester Priskasari, MT.
NIP. Y. 103 9400 265

Ir. Bambang Wedyantadji, MT
NIP. Y. 101 8500 093

Malang, Februari 2017

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1



Ir. A. Agus Santosa, MT
NIP. Y. 101 8700 155

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2017**

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH LETAK PENGASARAN PERMUKAAN DAN SAMBUNGAN
LEWATAN TULANGAN BAMBU PADA KONSTRUKSI
BALOK LENTUR**

Dipertahankan Di hadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi
Jenjang Strata Satu (S-1)

Pada Hari : Selasa

Tanggal : 20 Desember 2016

Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1

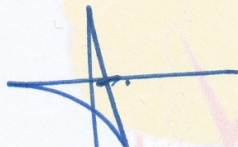
Disusun Oleh :

**HADI SURYA WIBAWANTO SUNARWADI
(13.21.134)**


Disahkan Oleh :

Ketua

Sekretaris



Ir. A. Agus Santosa, MT
NIP. Y. 101 8700 155

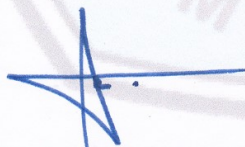


Ir. Munasih, MT
NIP. Y. 102 8800 187

Anggota Penguji :

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II



Ir. A. Agus Santosa, MT
NIP. Y. 101 8700 155



Ir. H. Sudirman Indra M.Sc
NIP. Y. 101 8300 054

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2017**

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Hadi Surya Wibawanto Sunarwadi

NIM : 13.21.134

Program Studi : Teknik Sipil S-1

Fakultas : Teknik Sipil Dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya dengan judul :

“Pengaruh Letak Pengasaran Permukaan Dan Sambungan Lewatan Tulangan Bambu Pada Konstruksi Balok Lentur”

Adalah hasil karya sendiri, bukan merupakan duplikat serta tidak mengutip atau menyadur seluruhnya dari hasil karya orang lain, kecuali yang disebut dari sumber aslinya dan tercantum dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Malang, Februari 2017

Yang Membuat Pernyataan



(Hadi Surya Wibawanto S.)

NIM 13.21.134

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap puji syukur Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik dan benar.

Penulisan Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar strata satu (S-1) pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang. Adapun judul yang penulis ajukan dalam Tugas Akhir ini adalah ***“Pengaruh Letak Pengasaran Permukaan Dan Sambungan Lewatan Tulangan Bambu Pada Konstruksi Balok Lentur”***

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan yang telah diberikan dari beberapa pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis akan menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Dr. Ir. Nusa Sebayang, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan.
2. Ir. A. Agus Santosa, MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1.
3. Ir. Munasih, MT., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil S-1.
4. Ir. Ester Priskasari, MT., selaku Dosen Pembimbing I dan kordinator bidang penelitian.
5. Ir. Bambang Wedyantadji, MT., selaku Dosen Pembimbing II.
6. Kepala serta staff Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Institut Teknologi Nasional Malang.

7. Kepala serta staff Laboratorium Struktur Universitas Negeri Malang.

Penyusun menyadari bahwa pada laporan tugas akhir ini, mungkin masih terdapat kekurangan ataupun kesalahan. Oleh karena itu, penyusun selalu mengharapkan saran, petunjuk, kritik dan bimbingan yang bersifat membangun, demi kelanjutan kami selanjutnya. Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi rekan – rekan mahasiswa pada umumnya dan penyusun pada khususnya.

Malang, Februari 2017

Penyusun

LEMBAR PERSEMBAHAN & MOTTO



PERSEMBAHAN

Dengan segala puja dan puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa dan atas dukungan dan do'a dari orang-orang tercinta, akhirnya Tugas Akhir ini dapat dirampungkan dengan baik dan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, dengan rasa bangga dan bahagia saya khaturkan rasa syukur dan terimakasih saya kepada :

- ✚ Kedua Orang tua tercinta, Mas Anton yang selalu memberikan penulis dukungan yang cukup besar terhadap moril dan materi.
- ✚ Keluarga besar yang telah memberikan dorongan dan masukan kepada penyusun hingga berada hingga sampai saat ini.
- ✚ Ir. Agus Santosa, MT., Ir. Deviany Kartika, MT. dan Ir. Ester Priskasari, MT selaku Dosen Pembina yang tiada henti – hentinya memberikan penulis masukan dan dorongan. Dan Terima kasih juga atas kepercayaan yang selalu diberikan kepada penulis untuk sebuah pengalaman yang selalu tercipta.
- ✚ Dr. Ir. Kustamar, MT. Terima kasih telah menjadi dosen wali penulis selama menjalani studi di ITN Malang kurang lebih 3,5 Tahun ini. Masukan yang penulis dapatkan cukup berarti.
- ✚ Team Penelitian (Ir. Ester Priskasari, MT., Ir. Bambang Wedyantadji MT., sdr. Mohammad Hadi dan sdr. M. Zidni Fasihul) yang selalu bersama – sama memberikan masukan hingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

- ✚ Kepengurusan Himpunan Mahasiswa Sipil Periode XVII dan XIX. Terima kasih untuk kebersamaannya dengan penulis yang begitu berharga yang penulis dapatkan dan telah mengantarkan penulis hingga saat ini menjadi lebih baik. Pengalaman itu sungguh berharga kedepannya. “Berkaryalah yang dapat bermanfaat bagi orang lain”.
- ✚ Statisjaya Team. Terima kasih telah menjadi saksi dari setiap perjalanan penulis dan team saat menjajaki sebuah prestasi kecil didalam kampus dan diluar kampus yang pernah team raih. Semoga ini merupakan sebuah momen yang tidak terlupakan dalam diri masing – masing. Semoga akan terus menjadi “Pemacu” dari semangat untuk prestasi lainnya yang akan diraih oleh Sipil.
- ✚ Angkatan 2013 Teknik Sipil ITN Malang. Terima kasih telah bersama – sama menjalani studi di ITN Malang. Semoga sukses bersama.

✚ **MOTTO**

- ✚ *“Kunci dalam melakukan segala sesuatu adalah keikhlasan, dan jangan pernah mempersulit keadaan orang yang membutuhkan bantuan kepada kita. Jika bisa mempermudah kenapa harus mempersulit”*
– **Ir. Agus Santosa, MT.** –
- ✚ *“Pilihan untuk keluar dari zona nyaman, adalah pilihan terbaik”*
– **Ir(dot)com** –

ABSTRAK

Surya Wibawanto, Hadi. 2017. *Pengaruh Letak Pengasaran Permukaan Dan Sambungan Lewatan Tulangan Bambu Pada Konstruksi Balok Lentur*. Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil S-1 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.
Pembimbing: (1) Ir. Ester Priskasari, MT (2) Ir. Bambang Wedyantadji, MT

Suatu konstruksi beton bertulang harus membentuk struktur komposit yang baik antara tulangan dan beton disekelilingnya. Bambu adalah material konstruksi yang memiliki daya lekatan yang sangat rendah. Daya lekatan (*Bond*) merupakan faktor yang paling penting dalam konstruksi beton bertulang. Hal tersebut dipengaruhi oleh mutu beton dan jenis tulangan serta kekasaran dari permukaan tulangan. Dalam penelitian ini adalah meneliti terkait perlakuan letak pengasaran permukaan tulangan bambu dan berbagai tipe kelas sambungan lewatan dengan menggunakan kawat berdiameter 1,2 mm dengan spasi 3 mm pada konstruksi balok lentur terhadap kapasitas lentur, lendutan, dan regangan tulangan. Balok beton bertulang pada penelitian ini dianalisa sebagai beton bertulangan tunggal dengan tulangan longitudinal bambu petung berdiameter 10 mm dengan tegangan leleh bambu, $f_y = 110$ MPa. Balok tersebut memiliki dimensi 80 mm x 120 mm x 1200 mm dengan mutu rencana beton adalah $f_c' = 20$. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa adanya pengaruh dari perlakuan pengasaran permukaan menggunakan lilitan kawat terhadap kapasitas lentur bambu bertulangan bambu. Bahkan dengan lilitan penuh memiliki nilai momen lentur sebesar 185,96% dari balok teoritis. Pada penelitian yang kedua didapatkan hasil bahwa sambungan lewatan tulangan bambu terjadi penurunan kapasitas lentur. Kesimpulannya adalah bambu tanpa perlakuan pengasaran permukaan tidak dianjurkan untuk digunakan sebagai tulangan pada elemen struktur sederhana, sedangkan bambu dengan perlakuan pengasaran permukaan direkomendasikan sebagai material tulangan didalam elemen struktur sederhana dikarenakan dapat meminimalkan terjadinya lendutan dan juga regangan yang cukup besar.

Kata Kunci : *Bambu Petung, flexural strength, sambungan lewatan.*

ABSTRACT

Surya Wibawanto, Hadi. 2017. *Influence of Surface coarsening layout and lap splice connection of Reinforcement Bamboo On Bending Beam Construction*. Final Assigment, Civil Engineering Department, Faculty of Civil Engineering and Planning, National Institute of Technology Malang. Supervisors: (1) Ir. Ester Priskasari, MT (2) Ir. Bambang Wedyantadji, MT

A reinforced concrete construction should form a composite structure between the reinforcement and the surrounding concrete. Bamboo is a construction material that has a very low coherency. Power appendage (Bond) is the most important factor in the construction of reinforced concrete. It is influenced by the quality of concrete and reinforcement types and roughness of the surface reinforcement. In this study was to investigate the related treatment coarsening surface reinforcement layout bamboo and various types of classes connection throughput by using a wire diameter of 1.2 mm to 3 mm spacing on the bending beam construction of the bending capacity, deflection and strain of reinforcement. Reinforced concrete beam in this study were analyzed as a single reinforce concrete with longitudinal reinforcement diameter of 10 mm with petung bamboo yield stress, $f_y = 110$ MPa. The beam has dimensions of 80 mm x 120 mm x 1200 mm with the compressive strength of concrete plan is $f_c' = 20$ Megapascal. Based on test results showed that the influence of surface coarsening treatment using wire to bending capacity. Even with a full coil has a value of bending moment of 185.96% of the theoretical beam. In the second study showed that the lap splice connection throughput decreased petung bamboo reinforcement bending capacity. The conclusion is bamboo without coarsening the surface treatment is not recommended for use as reinforcement in a simple structural element, while the bamboo with a surface coarsening treatment is recommended as a reinforcement material in a simple structural elements due to minimize the occurrence of deflection and strain also sizeable.

Keyword : *flexural strength, lap splice connection, Petung bamboo.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSEMBAHAN DAN MOTTO	vii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR GRAFIK	xxvi
DAFTAR NOTASI	xxviii

BAB I PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang	1
1.2	Perumusan Masalah	4
1.3	Maksud Penelitian	5
1.4	Tujuan Penelitian	5
1.5	Batasan Masalah	6
1.6	Manfaat Penelitian	7
1.6.1	Manfaat Penelitian Secara Umum	7
1.6.2	Manfaat Penelitian Secara Khusus	7

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Beberapa Penelitian Terdahulu	9
2.2	Landasan Teori	13
2.2.1	Bambu	13
2.2.1.1	Definisi Bambu	13
2.2.1.2	Material Bambu Sebagai Bahan Konstruksi	14
2.2.1.3	Perawatan (Treatment) Bambu	15
2.2.2	Beton	16
2.2.2.1	Kuat Tekan Beton	16
2.2.2.2	Kuat Tarik Lentur Beton	17
2.2.2.3	Modulus Elastisitas Beton	18
2.2.3	Balok Beton Bertulangan Tunggal	19
2.2.3.1	Dasar Perencanaan Beton Bertulang	19
2.2.3.2	Sistem Perencanaan	20
2.2.3.3	Analisa Lentur Balok Tulangan Tunggal	24
2.2.4	Sambungan Lewatan Tulangan	27
2.2.5	Panjang Penyaluran	28
2.2.6	Lendutan Teoritis Balok Beton Bertulang	29
2.2.6.1	Pengertian Lendutan Secara Umum	29
2.2.6.2	Pengaruh Lendutan Pada Balok Retak	30
2.2.6.3	Menentukan Lendutan Teoritis Balok	31

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Jenis Penelitian	34
-----	------------------------	----

3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	34
3.3	Parameter Penelitian	35
3.4	Peralatan Pengujian Penelitian	37
3.5	Model Analisa	39
3.6	Pelaksanaan Penelitian	39
3.6.1	Tahap Persiapan	39
3.6.2	Tahap Perencanaan Bentuk Benda Uji	41
3.6.2.1	Kelompok ke-1 (pengaruh pengasaran permukaan tulangan)	41
3.6.2.2	Kelompok ke-2 (pengaruh sambungan lewatan tulangan)	43
3.6.3	Tahap Perancangan Adukan Beton	45
3.6.4	Tahap Pengadukan Campuran Beton	45
3.6.5	Tahap Pembuatan Benda Uji	45
3.6.6	Tahap Perawatan Benda Uji	50
3.6.7	Tahap Pengujian	50
3.7	Bagan Alir (<i>Flow Chart</i>) Pelaksanaan Penelitian	54

BAB IV PERSIAPAN, PELAKSANAAN DAN HASIL PENELITIAN

4.1	Persiapan Penelitian	56
4.1.1	Pemilhan Tulangan Bambu	56
4.1.2	Persiapan Pengujian Tarik Bambu	57
4.1.3	Persiapan Rangkaian Tulangan Bamabu	61
4.1.4	Persiapan Pembuatan Begisting dan Acuan Benda Uji	65
4.1.5	Perhitungan Mix Design	66
4.1.6	Analisa Balok	67

4.1.6.1	Perhitungan Momen Teoritis	67
4.1.6.2	Perhitungan Momen Kapasitas Balok	68
4.2	Pelaksanaan Penelitian	72
4.2.1	Prosedur Pelaksanaan Pencampuran (<i>mixing</i>)	72
4.2.2	Pengujian Slump Beton	73
4.3	Data Hasil Pengujian Penelitian	74
4.3.1	Pengujian Kuat Tekan Beton	74
4.3.2	Kelompok Pengujian Ke- 1	75
4.3.2.1	Tanpa Lilitan/ Polos	76
4.3.2.2	Lilitan Full	85
4.3.2.3	Lilitan Daerah Ujung – Tengah – Ujung	97
4.3.2.4	Lilitan Daerah Ujung – Ujung	109
4.3.3	Kelompok Pengujian Ke-2	118
4.3.3.1	Sambungan Lewatan ke-1 (<i>Lap Splice 1</i>)	118
4.3.3.2	Sambungan Lewatan ke-2 (<i>Lap Splice 2</i>)	130
4.3.3.3	Sambungan Lewatan ke-3 (<i>Lap Splice 3</i>)	142

BAB V ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

5.1	Analisa Data Penelitian	157
5.1.1	Analisa Data Statistik Interval Kepercayaan Kekuatan Tekan Beton .	157
5.1.2	Analisa Data Statistik Interval Kepercayaan Kelompok Pengujian Ke- 1	161
5.1.2.1	Tanpa Lilitan/ Polos	161
5.1.2.2	Lilitan Full	162

5.1.2.3	Lilitan Daerah Ujung – Tengah – Ujung	163
5.1.2.4	Lilitan Daerah Ujung – Ujung	164
5.1.3	Analisa Data Statistik Interval Kepercayaan Kelompok Pengujian Ke- 2	166
5.1.3.1	Sambungan Lewatan ke-1 (<i>Lap Splice 1</i>)	166
5.1.3.2	Sambungan Lewatan ke-2 (<i>Lap Splice 2</i>)	167
5.1.3.3	Sambungan Lewatan ke-3 (<i>Lap Splice 3</i>)	168
5.2	Pembahasan Data Hasil Pengujian	170
5.2.1	Kelompok Pengujian Ke-1	170
5.2.1.1	Tanpa Lilitan/ Polos	170
5.2.1.2	Lilitan Full	173
5.2.1.3	Lilitan Daerah Ujung – Tengah – Ujung	175
5.2.1.4	Lilitan Daerah Ujung – Ujung	179
5.2.2	Kelompok Pengujian Ke-2	182
5.2.2.1	Sambungan Lewatan ke-1 (<i>Lap Splice 1</i>)	182
5.2.2.2	Sambungan Lewatan ke-2 (<i>Lap Splice 2</i>)	185
5.2.2.3	Sambungan Lewatan ke-3 (<i>Lap Splice 3</i>)	188

BAB VI PENUTUP

6.1	Kesimpulan	191
6.2	Saran	192

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik Hubungan tegangan lekatan tulangan dengan mutu beton (Z. Huang, B. Engstrom dan J. Magnusson, 1996)	11
Gambar 2.2	Diagram tegangan dan regangan bambu dan baja pada penelitian Morisco (1991-1994)	15
Gambar 2.3	Skema Uji Kuat Tekan Beton	16
Gambar 2.4	Skema Uji Kuat Lentur Beton	17
Gambar 2.5	Diagram Distribusi Tegangan dan Regangan Balok Lentur Tulangan Tunggal	24
Gambar 2.6	Panjang Tulangan (Ld) Yang Tertanam Dalam Beton	28
Gambar 2.7	Skema Defleksi Maksimum untuk Beban Terpusat dari Pengujian	32
Gambar 2.8	Skema Defleksi Maksimum untuk Beban Mati (Selfweight)	33
Gambar 3.1	Tampak Atas Rencana Penulangan Benda Uji Tanpa Lilitan	41
Gambar 3.2	Tampak Perspektif Rencana Penulangan Benda Uji Tanpa Lilitan	41
Gambar 3.3	Tampak Atas Rencana Penulangan Benda Uji Lilitan Penuh	41
Gambar 3.4	Tampak Perspektif Rencana Penulangan Benda Uji Lilitan Penuh	41
Gambar 3.5	Tampak Atas Rencana Penulangan Benda Uji Lilitan Pada Daerah Ujung – Tengah	42
Gambar 3.6	Tampak Perspektif Rencana Penulangan Benda Uji Lilitan Pada Daerah Ujung – Tengah	42

Gambar 3. 7	Tampak Atas Rencana Penulangan Benda Uji Lilitan Pada Daerah Ujung – Ujung	42
Gambar 3.8	Tampak Perspektif Rencana Penulangan Benda Uji Lilitan Pada Daerah Ujung – Ujung	42
Gambar 3.9	Tampak Atas Rencana Penulangan Benda Uji Dengan Tanpa Sambungan Pada tulangan	43
Gambar 3.10	Tampak Perspektif Rencana Penulangan Benda Uji Dengan Tanpa Sambungan Pada tulangan	43
Gambar 3.11	Tampak Atas Rencana Penulangan Benda Uji Dengan sambungan Lewatan Tulangan Sebesar 1,0 Ld	43
Gambar 3.12	Tampak Perspektif Rencana Penulangan Benda Uji Dengan sambungan Lewatan Tulangan Sebesar 1,0 Ld	43
Gambar 3.13	Tampak Atas Rencana Penulangan Benda Uji Dengan sambungan Lewatan Tulangan Sebesar 1,3 Ld	44
Gambar 3.14	Tampak Perspektif Rencana Penulangan Benda Uji Dengan sambungan Lewatan Tulangan Sebesar 1,3 Ld	44
Gambar 3.15	Tampak Atas Rencana Penulangan Benda Uji Dengan sambungan Lewatan Tulangan Sebesar 1,7 Ld	44
Gambar 3.16	Tampak Perspektif Rencana Penulangan Benda Uji Dengan sambungan Lewatan Tulangan Sebesar 1,7 Ld	44
Gambar 3.17	Tampak Bentuk Benda uji Balok	49
Gambar 3.18	Tampak Bentuk Benda Uji Silinder	49
Gambar 3.19	Skema pengujian balok lentur menggunakan Loading frame	51
Gambar 3.20	Rencana Pembebanan Pada Benda Uji Balok Lentur	52

Gambar 4.1	Rumpun pohon bambu petung yang telah berumur ± 3 tahun	57
Gambar 4.2	Pemilihan bambu petung yang telah berumur ± 3 tahun dan diangin – anginkan	57
Gambar 4.3	Benda uji setelah dilakukan pembubutan daerah specimen	59
Gambar 4.4	Pengujian tarik benda uji dengan alat Universal Testing Machine	59
Gambar 4.5	Lem kayu epoxy (resin dan hardener) yang digunakan	62
Gambar 4.6	Proses pengecatan lem kayu epoxy (resin dan hardener)	62
Gambar 4.7	Proses pelilitan kawat pada permukaan tulangan bambu	62
Gambar 4.8	Hasil lilitan kawat pada permukaan tulangan bambu	62
Gambar 4.9	Pemotongan kawat aluminium diameter 4 mm sebagai tulangan geser/ tulangan sengkang	63
Gambar 4.10	Pemotongan kawat aluminium diameter 3 mm sebagai tulangan geser/ tulangan sengkang	63
Gambar 4.11	Pemasangan Strain Gauge pada permukaan tulangan bambu	64
Gambar 4.12	Strain gauge yang telah terpasang pada permukaan tulangan bambu	64
Gambar 4.13	Perangkaian tulangan bambu kelompok pengujian pertama	65
Gambar 4.14	Perangkaian tulangan bambu kelompok pengujian kedua	65
Gambar 4.15	Begisting jenis 1	66
Gambar 4.16	Begisting jenis 2	66
Gambar 4.17	Skema Pembebanan Pengujian	67

Gambar 4.18	Tegangan dan regangan balok bertulangan tunggal	69
Gambar 4.19	Penampang Balok	69
Gambar 4.20	Penomoran dan Jarak Tulangan ke Garis Sumbu	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil Penelitian Tegangan Lekatan menggunakan metode pull – out test oleh Khosrow Ghavami (2005)	7
Tabel 3.1	Variasi benda uji penelitian Uji lentur berupa balok	47
Tabel 3.2	Variasi benda uji penelitian uji kuat tekan berupa silinder	48
Tabel 4.1	Data pengujian kuat tarik bambu	60
Tabel 4.2	Perhitungan mencari garis netral pada penampang balok	70
Tabel 4.3	Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton	74
Tabel 4.4	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu tanpa lilitan/ polos benda uji ke-1	77
Tabel 4.5	Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu tanpa lilitan/ polos benda uji ke-1	77
Tabel 4. 6	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu polos benda uji ke-1	78
Tabel 4.7	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu polos benda uji ke-2	80
Tabel 4.8	Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu polos benda uji ke-2	80
Tabel 4.9	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu polos benda uji ke-2	81
Tabel 4.10	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu polos benda uji ke-3	83

Tabel 4.11	Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu polos benda uji ke-3	83
Tabel 4.12	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu polos benda uji ke-3	84
Tabel 4.13	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan full benda uji ke-1	86
Tabel 4.14	Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan full benda uji ke-1	87
Tabel 4.15	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan full benda uji ke-1	88
Tabel 4.16	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan full benda uji ke-2	90
Tabel 4.17	Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan full benda uji ke-2	91
Tabel 4.18	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan full benda uji ke-2	92
Tabel 4. 19	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan full benda uji ke-3	94
Tabel 4.20	Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan full benda uji ke-3	95
Tabel 4.21	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan full benda uji ke-3	96
Tabel 4.22	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah – ujung benda uji ke-1	98

Tabel 4.23	Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah – ujung benda uji ke-1	99
Tabel 4.24	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah – ujung benda uji ke-1	100
Tabel 4.25	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah – ujung benda uji ke-2	102
Tabel 4.26	Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah - ujung benda uji ke-2	103
Tabel 4.27	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah – ujung benda uji ke-2	104
Tabel 4.28	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah - ujung benda uji ke-3	106
Tabel 4.29	Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah – ujung benda uji ke-3	107
Tabel 4.30	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah ujung benda uji ke-3	108
Tabel 4.31	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan daerah ujung – ujung benda uji ke-1	110
Tabel 4.32	Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan daerah ujung – ujung benda uji ke-1	111
Tabel 4.33	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan daerah ujung – ujung benda uji ke-1	112
Tabel 4.34	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan daerah ujung – ujung benda uji ke-2	114

Tabel 4.35	Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan daerah ujung – ujung benda uji ke-2	115
Tabel 4.36	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan daerah ujung– ujung benda uji ke-2	116
Tabel 4.37	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan daerah ujung - ujung benda uji ke-3	118
Tabel 4.38	Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan daerah ujung – ujung benda uji ke-3	119
Tabel 4.39	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan daerah ujung – ujung benda uji ke-3	120
Tabel 4.40	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewatan 1 tulangan bambu benda uji ke-1	122
Tabel 4.41	Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 1 tulangan bambu benda uji ke-1	123
Tabel 4.42	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan lewatan 1 tulangan bambu benda uji ke-1	124
Tabel 4.43	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewatan 1 tulangan bambu benda uji ke-2	126
Tabel 4.44	Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 1 tulangan bambu benda uji ke-2	127
Tabel 4.45	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan lewatan 1 tulangan bambu benda uji ke-2	128
Tabel 4.46	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewatan 1 tulangan bambu benda uji ke-3	130

Tabel 4.47	Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 1 tulangan bambu benda uji ke-3	131
Tabel 4.48	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan lewatan 1 tulangan bambu benda uji ke-3	132
Tabel 4.49	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewatan 2 tulangan bambu benda uji ke-1	134
Tabel 4.50	Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 2 tulangan bambu benda uji ke-1	135
Tabel 4.51	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan lewatan 2 tulangan bambu benda uji ke-1	136
Tabel 4.52	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewatan 2 tulangan bambu benda uji ke-2	138
Tabel 4.53	Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 2 tulangan bambu benda uji ke-2	139
Tabel 4.54	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan lewatan 2 tulangan bambu benda uji ke-2	140
Tabel 4.55	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewatan 2 tulangan bambu benda uji ke-3	142
Tabel 4.56	Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 2 tulangan bambu benda uji ke-3	143
Tabel 4.57	hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan lewatan 2 tulangan bambu benda uji ke-3	144
Tabel 4.58	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewatan 3 tulangan bambu benda uji ke-1	146

Tabel 4.59	Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 3 tulangan bambu benda uji ke-1	147
Tabel 4.60	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan lewatan 3 tulangan bambu benda uji ke-1	148
Tabel 4.61	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewatan 3 tulangan bambu benda uji ke-2	150
Tabel 4.62	Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 3 tulangan bambu benda uji ke-2	151
Tabel 4.63	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan lewatan 3 tulangan bambu benda uji ke-2	152
Tabel 4.64	Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewatan 3 tulangan bambu benda uji ke-3	154
Tabel 4.65	Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 3 tulangan bambu benda uji ke-3	155
Tabel 4.66	Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan lewatan 3 tulangan bambu benda uji ke-3	156

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Grafik hubungan tegangan-regangan pengujian bambu	60
Grafik 4.2	Diagram Batang Momen Runtuh Balok Benda Uji Polos	170
Grafik 4.3	Hubungan momen - lendutan pengujian dan teoritis benda uji dengan tulangan tanpa pengasaran/ lilitan (polos)	171
Grafik 4.4	Hubungan tegangan - regangan pengujian dan teoritis benda uji dengan tulangan tanpa pengasaran/ lilitan (polos)	172
Grafik 4.5	Diagram Batang Momen Runtuh Balok Benda Uji Full	173
Grafik 4.6	Hubungan momen - lendutan pengujian dan teoritis benda uji dengan tulangan lilitan penuh/ full	174
Grafik 4.7	Hubungan tegangan - regangan pengujian dan teoritis benda uji dengan tulangan lilitan penuh/ full	175
Grafik 4.8	Diagram Batang Momen Runtuh Balok Benda Uji Lilitan Daerah Ujung – Tengah – Ujung	176
Grafik 4.9	Hubungan momen - lendutan pengujian dan teoritis benda uji dengan tulangan lilitan daerah ujung – tengah – ujung	177
Grafik 4.10	Hubungan tegangan - regangan pengujian dan teoritis benda uji dengan tulangan lilitan daerah ujung – tengah – ujung	178
Grafik 4.11	Diagram Batang Momen Runtuh Balok Benda Uji Lilitan Daerah Ujung – Ujung	179
Grafik 4.12	Hubungan momen - lendutan pengujian dan teoritis benda uji dengan tulangan lilitan daerah ujung - ujung	180

Grafik 4.13	Hubungan tegangan - regangan pengujian dan teoritis benda uji dengan tulangan lilitan daerah ujung - ujung	181
Grafik 4.14	Diagram Batang Momen Runtuh Balok Benda Uji Dengan Sambungan Lewatan 1,0 Ld	182
Grafik 4.15	Hubungan momen - lendutan pengujian dan teoritis benda uji dengan sambungan lewatan 1,0 Ld	183
Grafik 4.16	Hubungan tegangan - regangan pengujian dan teoritis benda uji dengan sambungan lewatan 1,0 Ld	184
Grafik 4.17	Diagram Batang Momen Runtuh Balok Benda Uji Dengan Sambungan Lewatan 1,3 Ld	185
Grafik 4.18	Hubungan momen - lendutan pengujian dan teoritis benda uji dengan sambungan lewatan 1,3 Ld	186
Grafik 4.19	Hubungan tegangan - regangan pengujian dan teoritis benda uji dengan sambungan lewatan 1,3 Ld	187
Grafik 4.20	Diagram Batang Momen Runtuh Balok Benda Uji Dengan Sambungan Lewatan 1,7 Ld	188
Grafik 4.21	Hubungan momen - lendutan pengujian dan teoritis benda uji dengan sambungan lewatan 1,7 Ld	189
Grafik 4.22	Hubungan tegangan - regangan pengujian dan teoritis benda uji dengan sambungan lewatan 1,7 Ld	190

DAFTAR NOTASI

A	= Luas Permukaan Benda Uji (mm^2)
d_b	= Diameter Nominal Tulangan (mm)
E_c	= Modulus Elastisitas Beton (MPa)
E_s	= Modulus Elastisitas Baja Tulangan (MPa)
F'_c	= Tegangan Hancur (MPa)
F'_{cr}	= Kuat Tekan Beton Rata – Rata (MPa)
F_u	= Faktor Umur
F_y	= Tegangan Leleh (MPa)
I_{cr}	= Momen Inersia Penampang Retak Transformasi (mm^4)
I_e	= Momen Inersia Penampang Efektif (mm^4)
I_g	= Momen Inersia Penampang Bruto (mm^4)
L_d	= Panjang Penyaluran Tulangan yang Tertanam di Beton (mm)
L_s	= Panjang Sambungan Lewatan Tulangan (mm)
M_{cr}	= Momen Retak Transformasi (N.m)
M_{max}	= Momen Maksimum (N.m)
P	= Beban Maksimum (N)
q	= Berat Sendiri Elemen Balok (kg/m^3)
W_c	= Berat Isi Beton (kg/m^3)
ϵ_c	= Regangan Beton
ϵ_s	= Regangan Baja
μ	= Kekuatan Lekatan (MPa)
\otimes	= Keliling Penampang (mm)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dan penggunaan konstruksi beton bertulang di lapangan saat ini tidak terlepas dari jumlah pemakaian material baja sebagai tulangan. Hal ini ternyata menimbulkan permasalahan yaitu baja yang merupakan material yang terbuat dari bijih besi dan diperoleh dari hasil tambang adalah material yang tidak dapat diperbaharui sehingga keberadaannya dalam suatu saat akan habis. Dalam upaya mencari solusi alternatif, bambu menjadi pilihan utama dikarenakan material bambu salah satu material yang mudah diperoleh dan pertumbuhannya di alam cukup cepat yang menjadikannya sebagai material energi ramah lingkungan. Material bambu dapat diproduksi dengan cara ditanam dengan pertumbuhan yang cepat sedangkan baja harus dibuat dalam proses pabrik dan membutuhkan energi yang cukup besar. Keberadaan material bambu sebagai bahan konstruksi diketahui mampu mengurangi energi atau sumber daya sebesar 50 kali daripada penggunaan baja sebagai tulangan.

Konstruksi beton bertulang (*Reinforced Concrete*) merupakan suatu kesatuan konstruksi dan membentuk suatu ikatan komposit. Suatu struktur komposit beton bertulang terbentuk dengan adanya interaksi antara komponen – komponen material tulangan dan beton yang masing – masing karakteristik dasar materialnya dimanfaatkan secara optimal. Material beton memiliki kekuatan

menahan tekan yang cukup tinggi namun tidak mampu menahan gaya tarik yang baik sedangkan material baja atau yang dianggap sebagai tulangan memiliki kemampuan kuat tarik dan geser yang cukup tinggi dan memiliki kemampuan lentur yang lebih tinggi.

Salah satu prinsip dalam perencanaan elemen beton bertulang adalah faktor keserasian (*compatibility*) kerjasama antara tulangan dan beton. Hubungan kerjasama antara tulangan dengan beton disekelilingnya menjadi satu kesatuan yang saling mendukung bertujuan sebagai penyaluran gaya dari suatu elemen terhadap tulangan dan beton dapat bekerja dengan baik. Menurut Edward G. Nawy, pada saat suatu elemen terbebani maka diharapkan regangan (*strain*) dari tulangan dan beton memiliki nilai yang sama secara bersamaan. Hal tersebut dimaksudkan agar tidak terjadinya diskontinuitas ataupun pemisahan dari kedua material tersebut yang dapat menurunkan kapasitas mekanis dari suatu elemen.

Daya lekatan merupakan faktor yang paling penting dalam konstruksi beton bertulang. Daya lekatan dipengaruhi oleh mutu beton dan jenis tulangan serta kekasaran dari permukaan tulangan, sebagaimana yang diketahui penyaluran gaya tarik yang bekerja pada balok beton disalurkan kepada tulangan sehingga ketika balok beton bertulang tersebut diberi beban tidak akan terjadi selip atau geseer antara tulangan dan beton yang cukup besar. Oleh sebab itu, diperlukan tulangan yang mampu untuk menahan tegangan tarik dengan lekatan yang dapat bekerja dengan baik sehingga aksi dari struktur komposit antara beton dan tulangan dapat bekerja dengan baik pula.

Pada dasarnya tulangan bambu memiliki kadar lengas (kembang susut) yang cukup besar. Sehingga pada saat tertanam didalam beton akan menurunkan sifat adhesi atau lekatanya (*bond*) pada beton disekelilingnya. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ester Priskasari, Agus Santosa dan Sudirman Indra (2015) menyimpulkan bahwa tulangan bambu dengan perlakuan pengasaran permukaan dengan lilitan kawat spiral diameter 1,2 mm dan spasi bersih 3 mm dan juga treatment pelapisan permukaan tulangan bambu dengan lapisan kedap air (*waterproof*) diperoleh tegangan lekatan yang hampir mendekati dengan tulangan baja ulir (*deform*) dan diperoleh hasil pengujian yang lebih baik dibandingkan dengan bambu polos tanpa treatment dan perlakuan.

Seringkali ditemukan bahwa pada pelaksanaan dilapangan bahwa tulangan yang diperlukan lebih panjang daripada yang tersedia ataupun dari tulangan yang tidak utuh lagi. Dalam peraturan dan persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung SNI 2847 - 2013 menjelaskan bahwa sambungan yang dapat dilakukan pada tulangan yaitu sambungan lewatan *Ls* (*lap splice*), sambungan las *Ws* (*welded splice*) dan sambungan mekanis (*mechanical connections*). Akan tetapi dalam penelitian ini menggunakan bambu sebagai material tulangan utama atau longitudinal nya sehingga pada kondisi tulangan yang terputus dapat menggunakan sambungan lewatan (*lap splice*). Dalam perencanaannya sambungan lewatan sangat berpengaruh terhadap panjang penyaluran atau panjang minimum yang tersedia. Dalam SNI 2847-2013 menjelaskan bahwa nilai dari sambungan lewatan dari suatu tulangan memiliki nilai 1,0 dan 1,3 kali panjang penyaluran yang disediakan.

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini dimaksudkan untuk melakukan penelitian yang berkaitan tentang pengaplikasian tulangan bambu pada konstruksi balok lentur dengan pengasaran penampang pada beberapa letak dan posisi pada tulangan dengan menggunakan lilitan kawat ukuran 1,2 mm dengan spasi 3 mm. Selain itu juga dalam penelitian ini bermaksud untuk meneliti pengaruh dari sambungan lewatan yang telah disyaratkan pada SNI 2847-2013 dengan memperkirakan nilai pembesaran panjang penyaluran (*development length*). Sehingga judul penelitian yang akan dilakukan adalah ***“Pengaruh Letak Pengasaran Permukaan dan Sambungan lewatan Tulangan Bambu Pada Konstruksi Balok Lentur”***.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang dan mengingat pentingnya masalah kekuatan lekatan tulangan bambu dengan beberapa posisi dari pengasaran permukaan tulangan dan juga pengaruh dari beberapa jenis panjang dari sambungan lewatan dengan penerapan pada konstruksi balok lentur. Maka perumusan masalah pada penelitian yang akan diteliti ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa kekuatan lentur pada konstruksi balok bertulangan bambu dengan perlakuan pada letak pengasaran permukaan dan sambungan lewatan tulangan ?
2. Berapa regangan tulangan longitudinal tarik yang terjadi pada konstruksi balok bertulangan bambu dengan perlakuan pada letak pengasaran permukaan dan sambungan lewatan tulangan ?

3. Berapa lendutan (*deflection*) yang terjadi pada konstruksi balok bertulangan bambu dengan perlakuan pada letak pengasaran permukaan dan sambungan lewatan tulangan ?

1.3 Maksud Penelitian

Adapun maksud dari penelitian ini adalah meneliti kekuatan mekanis berupa kapasitas lentur, regangan dan juga lendutan (*deflection*) yang dicapai pada balok bertulangan bambu dengan perlakuan khusus yaitu dengan pemberian pengasaran permukaan tulangan bambu dengan menggunakan lilitan kawat pada beberapa variasi letak dan posisi di tulangan. Selain itu dalam penelitian ini akan mengamati terkait kapasitas lentur, regangan dan juga lendutan (*deflection*) dari beberapa jenis sambungan lewatan (*lap splice*). Hasil dari penelitian ini kemudian diajukan sebagai syarat dalam rangka penyelesaian studi di Program Studi Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian diatas maka peneliti mempunyai beberapa tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui kekuatan lentur pada konstruksi balok bertulangan bambu dengan perlakuan pada letak pengasaran permukaan dan juga sambungan lewatan tulangan.

2. Untuk mengetahui regangan tulangan longitudinal tarik yang terjadi pada konstruksi balok bertulangan bambu dengan perlakuan pada letak pengasaran permukaan dan juga sambungan lewatan tulangan.
3. Untuk mengetahui lendutan (*deflection*) yang terjadi pada konstruksi balok bertulangan bambu dengan perlakuan pada letak pengasaran permukaan dan juga sambungan lewatan tulangan.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian tidak menyimpang dari permasalahan, diperlukannya pembatasan masalah agar maksud dan tujuan yang diinginkan tercapai. Adapun batasan – batasan masalah tersebut adalah :

1. Menganalisa kekuatan lentur yang terjadi pada balok lentur bertulangan bambu dengan perlakuan pada letak pengasaran permukaan. Selain itu juga akan membahas dan menganalisa kekuatan lentur yang terjadi pada balok lentur bertulangan bambu dengan adanya sambungan lewatan.
2. Mengukur dan meneliti regangan tulangan longitudinal tarik yang terjadi pada konstruksi balok bertulangan bambu dengan perlakuan pada letak pengasaran permukaan dan juga sambungan lewatan tulangan.
3. Mengukur dan meneliti lendutan (*deflection*) yang terjadi pada balok lentur bertulangan bambu dengan perlakuan pengasaran permukaan serta pada balok lentur bertulangan bambu dengan adanya sambungan lewatan.

1.6 Manfaat Penelitian

Diharapkan dalam penelitian ini dapat memberikan manfaat terhadap beberapa pihak. Manfaat penelitian ini kemudian dikelompokkan secara umum dan khusus.

1.6.1 Manfaat Penelitian Secara Umum

1. Laporan hasil penelitian yang telah dilaksanakan ini diharapkan dapat digunakan sebagai kepustakaan, khususnya pada pengaplikasian material bambu sebagai tulangan didalam beton.
2. Menambahkan dan memperluas informasi kepada masyarakat baik secara teoritis maupun praktik terkait material bambu sebagai material alternatif pengganti baja yang dapat digunakan sebagai tulangan dalam konstruksi sederhana balok beton bertulang.
3. Memberikan informasi, masukan dan menjadi pertimbangan dalam memanfaatkan bambu sebagai tulangan beton bertulang untuk konstruksi balok pada struktur sederhana.

1.6.2 Manfaat Penelitian Secara Khusus

1. Menambahkan dan memperluas informasi terkait perlakuan pengasaran permukaan pada tulangan bambu dapat meningkatkan tegangan lekat (*bond*).
2. Memberikan informasi pengaruh perlakuan pengasaran permukaan menggunakan lilitan kawat dan juga sambungan lewatan dari berbagai kelas sambungan yang telah diatur SNI 2847-2013 terhadap kekuatan kapasitas lentur pada elemen balok bertulangan bambu.

3. Memberikan informasi pengaruh perlakuan pengasaran permukaan menggunakan lilitan kawat dan juga sambungan lewatan dari berbagai kelas sambungan yang telah diatur SNI 2847-2013 terhadap regangan tulangan longitudinal tarik pada elemen balok bertulangan bambu.
4. Memberikan informasi pengaruh perlakuan pengasaran permukaan menggunakan lilitan kawat dan juga sambungan lewatan dari berbagai kelas sambungan yang telah diatur SNI 2847-2013 terhadap lendutan (*deflection*) pada elemen balok bertulangan bambu.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beberapa Penelitian Terdahulu

Ada beberapa penelitian yang pernah dilakukan terkait meneliti pengaruh kekuatan lekatan antara tulangan dan beton disekelilingnya sebagai struktur komposit. Pada tahun 2006 Prof. Rachmad Purnomo dan Muhammad Erfan melakukan penelitian mengenai perilaku lekatan (*bond*) tulangan *Colled Rolled & Twisted Bar* pada beton dengan diperoleh kesimpulan tegangan lekatan pada CRT lebih bagus dari baja polos akan tetapi masih kurang bagus dibandingkan dengan baja ulir (*deform*). Oleh karena itu persamaan yang diatur didalam SNI 03-2847-2002 pasal 14.2 tidak dapat digunakan pada tulangan CRT, sehingga tulangan CRT yang karakteristik permukaannya adalah spiral tidak diperlakukan seperti tulangan spiral (*deform*). Pada penelitian tersebut juga menyimpulkan bahwa pengaruh lekatan tulangan didalam beton dipengaruhi oleh tegangan leleh tulangan dan panjang tulangan yang tertanam didalam beton.

Berkaitan dengan penelitian kekuatan lekatan yang terjadi antara tulangan bambu dengan beton dengan asumsi sebagai struktur komposit pernah dilakukan Khosrow Ghavami di tahun 2005. Menurut Khosrow Ghavami bahwa Bambu dengan treatment tertentu dapat meningkatkan kekuatan lekatan. Treatment dilakukan dengan tujuan agar menjaga kandungan kadar air didalam serat bambu sehingga tetap terjaga kemampuan bambu dalam menahan beban. Kondisi tidak dapat masuk dan keluarnya zat dari membran bambu (*impermeabilitas*) ini didasari

atas tiga hal yaitu sifat adhesi dari bambu, zat penolak air (*water repellent*) dan bagian permukaan bambu. Menurut Khosrow Ghavami treatment yang paling efektif adalah dengan perlakuan pada sisi permukaan bambu yakni dengan melapisi dengan zat epoxy namun biayanya cukup mahal. Beberapa percobaan lainnya telah dicoba termasuk bahan – bahan yang juga memenuhi sifat *impermeabilitas* termasuk aspal dan negrolin ditambah pasir. Diakhir penelitiannya melalui tes uji lekatan menggunakan metode *pull – out test* didapati hasil bahwa treatment dengan Sikadur 32 – Gel dapat meningkatkan kekuatan lekatan segmen bambu sebesar 5,29 kali lebih besar dibandingkan dengan tanpa perlakuan treatment. Beberapa hasil kekuatan lekatan bambu dengan dan tanpa perlakuan treatment yang dilakukan oleh Khosrow Ghavami dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah.

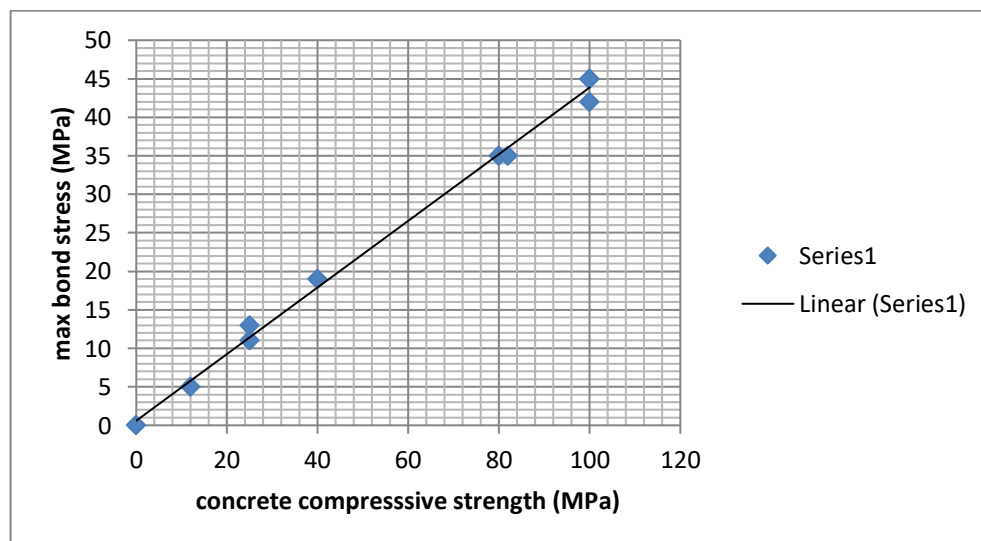
Tabel 2.1 Hasil Penelitian Tegangan Lekatan menggunakan metode *pull – out test* oleh Khosrow Ghavami (2005)

No	Perlakuan (<i>Treatment</i>)	Tegangan Lekatan	Tegangan Lekatan Dibandingkan dengan Tanpa Treatment
1.	Tanpa treatment	0,52	1,00
2.	Negrolin + pasir halus	0,73	1,40
3.	Negrolin + pasir halus + kawat	0,97	1,87
4.	Sikadur 32 – Gel	2,75	5,29
5.	Baja	3,25	6,25

Pada tahun sebelumnya yaitu ditahun 2001, dalam jurnal teknik sipil “SIPIL SOEPRA” volume 3 no. 8 oleh Suseno yang kemudian dalam kesimpulannya dikemukakan bahwa kelemahan utama dalam penggunaan tulangan bambu adalah kembang susut dari bambu itu sendiri. Hal ini dapat terjadi ketika beton mulai

mengering dan mengeras atau hilang sifat pastinya maka bambu tidak dapat menyerap air sehingga mengalami penyusutan. Akibatnya dari bambu yang menyusut menimbulkan rongga udara disekeliling permukaan tulangan bambu yang akan berpengaruh terhadap daya lekat antara bambu dan beton. Sehingga diperlukan perlakuan treatment berupa pelapisan permukaan tulangan bambu dengan lapisan anti air (*water proofing*) agar terjaganya kadar air dalam bambu.

Daya lekat yang terjadi antara dua bahan sebagai struktur komposit yaitu beton dengan tulangan baik berupa baja maupun bambu sangat dipengaruhi oleh mutu beton. Hal ini dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan oleh Z. Huang, B. Engstrom dan J. Magnusson di tahun 1996 dengan didapati hasil bahwa semakin tinggi mutu beton maka semakin tinggi pula tegangan lekatan antara tulangan dan beton itu sendiri, seperti terlihat pada grafik 2.1



Gambar 2.1 Grafik Hubungan tegangan lekatan tulangan dengan mutu beton (Z. Huang, B. Engstrom dan J. Magnusson, 1996)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ester Priskasari, dkk pada tahun 2015 adalah meneliti terkait pengaruh beberapa jenis pengasaran permukaan dengan lilitan kawat dan jarak spasi terhadap kekuatan lekatan tulangan bambu menunjukkan bahwa bahwa bambu dengan pengasaran permukaan paling optimum dengan lilitan kawat diameter 1,2 mm jarak spasi 3 mm dengan mutu beton sebesar 20 MPa memiliki tegangan lekatan tulangan sebesar 3,381 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perlakuan pengasaran permukaan pada tulangan bambu dengan jarak lilitan kurang lebih sama seperti jarak spasi ulir pada tulangan ulir (*deform*) dengan hasil kekuatan lekatan yang hampir sama dengan baja ulir (*deform*).

Beberapa kesimpulan lain dalam penelitian yang dilakukan oleh Ester Priskasari, dkk pada tahun 2015 adalah hubungan gaya tarik-slip pada kekuatan lekatan pada panjang penyaluran disaat terjadinya keruntuhan elastis (A) rata – rata tercapai diantara slip 0,25 – 2,5% sedangkan hubungan gaya tarik-slip keruntuhan leleh (A_y) dimana panjang penyaluran “ ld ” (*development length*) beban maksimum tercapai pada saat slip diatas 2,5 % sedangkan untuk hubungan gaya tarik-slip keruntuhan putus (R) dimana panjang penyaluran “ ld ” (*development length*) lebih besar dari “ ld ” dari teoritis tercapai dengan slip terbesar.

Sebagai bentuk pengaplikasian material bambu sebagai tulangan didalam balok beton bertulang pernah dilakukan oleh Pathurahman dan Jauhar Fajrin di tahun 2003. Dalam penelitiannya bamboo yang digunakan adalah bambu galah pada bagian kulit hingga daerah dalam bambu dengan ketebalan 30% dari tebal total. Tujuan pengambilan daerah ketebalan tersebut adalah dengan pertimbangan bagian luar/ kulit memiliki areal yang cukup padat sehingga sifat higroskopisnya

(kembang – susut) yaitu rendah dan juga diberi perlakuan pada lapisan kedap air. Pada penelitian ini tulangan bambu yang digunakan kemudian dipuntir dari tiga bilah bambu menjadi satu kesatuan seperti puntiran dari kabel. Keruntuhan yang terjadi pada benda uji balok beton pada penelitian ini diawali dengan retaknya beton. Retak yang selalu terjadi pada awal proses keruntuhan adalah retak lentur ditandai dengan pola retak yang tegak lurus. Dalam hasil penelitiannya Peneliti menjelaskan secara umum bahwa retak terjadi pada saat beban mencapai di atas 90% dari beban teoritis atau sekitar 78% dari beban runtuh. Retak awal yang terjadi yaitu pada daerah pembebanan di sekitar tumpuan rol, kemudian retak terjadi di daerah tengah bentang selanjutnya di daerah sekitar sendi, atau sebaliknya. Pada akhir kesimpulannya peneliti menjelaskan bahwa bambu memiliki peluang untuk dijadikan tulangan pada elemen balok beton, khususnya pada pengaplikasian struktur sederhana.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Bambu

2.2.1.1 Definisi Bambu

Menurut Gusti Made Oka (2005) menjelaskan bahwa bambu merupakan salah satu jenis tanaman rumput-rumputan yang tumbuh hampir di seluruh dunia baik di daerah yang beriklim panas maupun beriklim dingin. Keberadaan bambu dapat dikelompokkan kedalam 75 genera dan terdapat 1250 jenis bambu tumbuh didunia dan terdapat 56 jenis bambu yang asli tumbuh di Indonesia yang memiliki potensi ekonomi untuk dikembangkan. (Morisco, 1995, hal 13-15)

Bambu merupakan salah satu material konstruksi yang tersebar dan mudah ditemui didaerah tropis dan juga daerah subtropis (shupe et al, 2002). Dari berbagai jenis bambu yang tersebar itulah, pada buku Heinz Frick, 2002 dijelaskan bahwa hanya ada empat jenis bambu yang mudah ditemui dipasaran indonesia, yaitu bambu Petung (*Dendrocalamus asper*), bambu Tali/ Apus (*Gigantochia apus*), bambu Duri/ Ori (*Bambusa blumeana*), bambu Wulung/ Hitam (*Gigantochioa verticillata*).

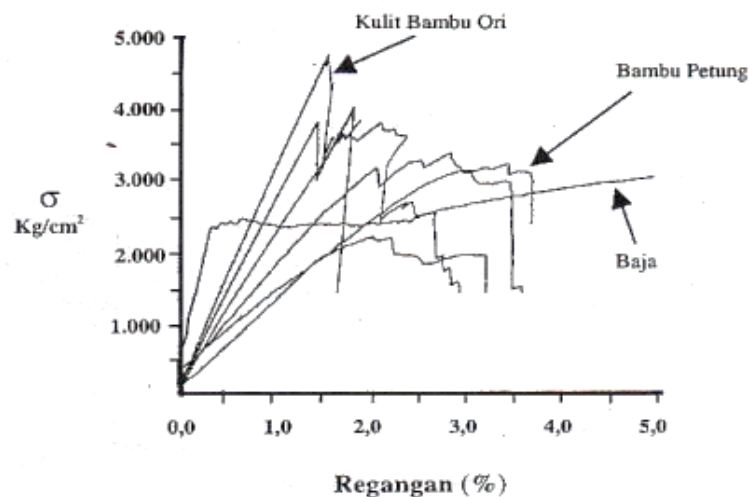
Bambu merupakan tumbuhan yang merupakan material komposit alam. Bagian dari bambu terdiri akan serat selulosa yang berbentuk memanjang paralel dan mengandung lignin. Serat – serat tersebut yang kemudian terkonsentrasi dibagian dekat dengan kulit luar. (K. Ghavami, 2005)

2.2.1.2 Material Bambu Sebagai Bahan Konstruksi

Bambu memiliki beberapa karakteristik yang dapat menjadi syarat sebagai material konstruksi yaitu kekuatan tarik dari bambu yang cukup tinggi dan memungkinkan untuk menahan gaya – gaya tarik axial, akan tetapi pada bagian dinding dalam batang memiliki besar kuat tarik yang berbeda pada bagian luar batang. Dalam kondisi lain, bambu juga dapat menahan gaya tekan dengan kondisi didaerah batang tanpa ruas memiliki kekuatan sekitar 8-45% lebih tinggi dari batang bambu yang beruas. Untuk kekuatan geser dari bambu itu sendiri berbeda pada tiap ketebalan dindingnya, pada dinding 10 mm menjadi 11% lebih rendah daripada dinding setebal 6 mm. Gaya geser pada bambu tanpa ruas juga memiliki gaya geser 50% lebih besar dibandingkan dengan bambu beruas. Bambu merupakan bahan elastis sehingga bambu mampu menahan gaya – gaya yang berusaha

melentur dan melengkung kan batang bambu dengan menimbulkan lendutan pada sisi batang bambu.

Pada penelitian yang pernah dilakukan oleh Morisco (1994-1999) terkait membandingkan kuat tarik bambu Ori dan Petung dengan baja struktur bertegangan leleh 2400 kg/cm², hasilnya kuat tarik bambu petung mencapai 3100 kg/cm².



Gambar 2.2 Diagram tegangan dan regangan bambu dan baja pada penelitian Morisco (1991-1994)

2.2.1.3 Perawatan (*Treatment*) Bambu

Cara perawatan yang dinilai penulis paling efektif adalah dengan cara melapisi permukaan tulangan bambu dengan lem jenis epoxy. Perawatan dengan cara ini juga pernah dilakukan oleh Anton prasetyawan, 2015 dalam penelitiannya terhadap bambu jenis petung. Perawatan jenis ini dinilai dapat terhindar dari gangguan faktor perusak bambu karena semua pori di permukaan bambu telah tertutupi rapat oleh cairan lem epoxy tersebut. Selain itu, lem epoxy yang telah mengering mempunyai sifat tahan/ kedap air (*water proofing*) sehingga kadar air

maupun zat perekat diantara serat – serat bambu dapat selalu terjaga dan menjaga sifat fisik dan mekanik bambu terhadap kekuatan tarik dan tekan bambu.

2.2.2 Beton

2.2.2.1 Kuat Tekan Beton

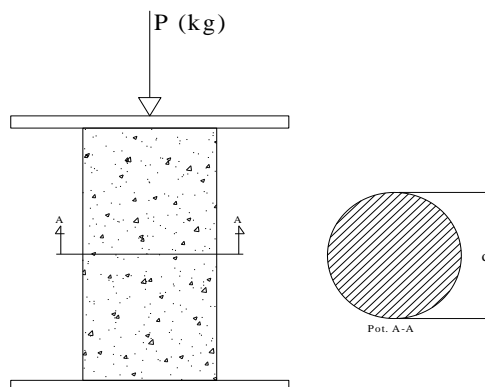
Kuat tekan beton adalah kemampuan beton secara keseluruhan menerima beban axial tekan maksimum yang ditransferkan ke daerah penampang beton (benda uji). Besaran dari kuat tekan beton didapat dari beban axial tekan maksimum persatuan luas penampang yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (*Compression Testing Machine*).

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2.1)$$

(SNI 03-1974-1990, hal: 6)

Keterangan: P = Beban axial tekan maksimal (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)



Gambar 2. 3 Skema Uji Kuat Tekan Beton

2.2.2.2 Kuat Tarik Lentur Beton

Kuat tarik lentur beton (*flexural strength modulus of rupture*) merupakan kemampuan maksimum beton secara struktural menerima beban tekan axial hingga melenturnya elemen pada beton hingga hancur.

$$\text{Kuat tarik lentur beton beton, } f_r = \frac{P \cdot l}{b \cdot d^2} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2.2)$$

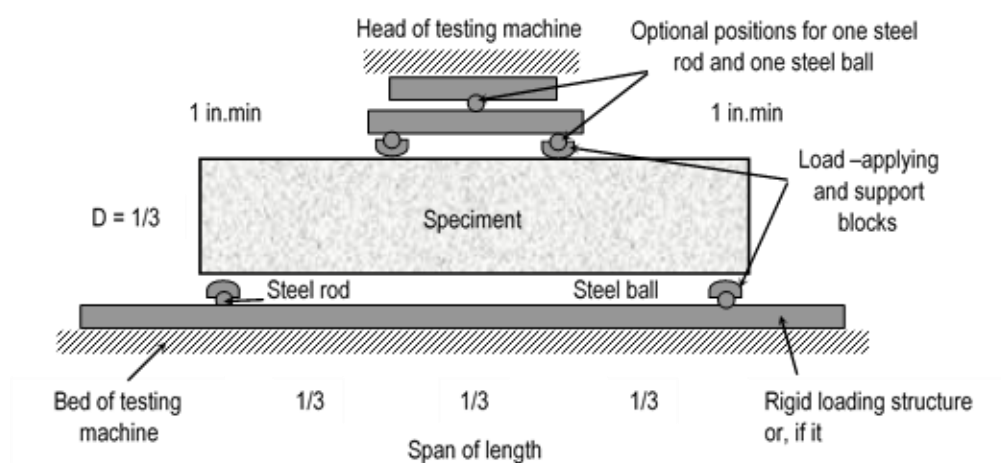
Keterangan : f_r = Kuat tarik lentur (N/mm²)

P = Beban Maksimum

L = Panjang benda uji (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

d = Tinggi benda uji (mm)



Gambar 2. 4 Skema Uji Kuat Lentur Beton

2.2.2.3 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas merupakan suatu besaran berupa angka konstanta yang digunakan untuk mengukur ketahanan bahan dalam mengalami deformasi elastis ketika bahan tersebut dibebani gaya. Tiap bahan mempunyai modulus elastisitas yang berbeda ketika mengalami gaya axial berupa beban tarik atau beban tekan.

Nilai modulus elastisitas pada beton didapatkan dari perbandingan antara tegangan dan regangan beton. Nilai modulus elastisitas pada beton tidak dapat ditentukan dengan pasti, hal ini disebabkan karena bervariasinya beton terkait mutu beton, umur beton, dan model pembebanan. Oleh karena itu perhitungan perencanaan modulus elastisitas pada beton harus menggunakan rumus yang berbeda dengan bahan – bahan elastisitas linear.

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 8.5, menyebutkan bahwa rumus modulus elastisitas untuk beton dengan nilai w_c antara 1440 sampai 2560 kg/m³ adalah sebagai berikut :

$$E_c = W_c^{1.5} 0,043 \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan, E_c = modulus elastisitas beton tekan (MPa)

W_c = berat beton (Kg/m³)

F_c' = kuat tekan beton (MPa)

Sehingga untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas pada beton bisa dicari dengan cara analisa teoritis (pada rumus persamaan 2.3) maupun dengan cara eksperimen (pengujian benda uji).

2.2.3 Balok Beton Bertulangan Tunggal

2.2.3.1 Dasar Perencanaan Beton Bertulang

Beton mempunyai kekuatan tekan yang relatif tinggi, namun sangat lemah terhadap kuat tariknya. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9% - 15% saja dari kuat tekannya atau menurut Gideon dalam bukunya halaman 37 bahwa kuat tarik beton adalah sekitar $0,7 \times \sqrt{f_c'}$, akan tetapi dalam beberapa perhitungan mengasumsikan bahwa kuat tarik dari beton dianggap nol atau diabaikan. Sehingga pada kondisi yang demikian, elemen struktur yang betonnya mengalami tegangan tarik diperkuat dengan batang baja tulangan sehingga terbentuk suatu struktur komposit dengan kondisi batang tulangan sebagai bahan yang mampu menahan gaya tarik dan membantu kelemahan dari tarik beton. Kedua sifat material tersebut harus mampu bekerja sama dengan baik sehingga penyaluran gaya yang terjadi dari tulangan ke beton dapat bekerja dengan baik pula.

Demikian juga bila tulangan ditaruh dibagian beton yang mengalami tekan, beton di sekeliling tulangan bersama – sama tulangan sengkang akan mencegah tulangan mengalami tekuk. Demikianlah penjelasan tentang mengapa kombinasi dari kedua bahan bangunan ini akan menghasilkan bahan bangunan baru yang memiliki sifat – sifat yang lebih baik dibanding sifat dari masing – masing bahan tersebut sebelum digabungkan.

Menurut buku Struktur Beton Bertulang, pengarang Istimawan Dipohusodo (1993) dihalaman 2, dijelaskan bahwa hal – hal yang dapat menyebabkan kerjasama komposit yang baik antara material tulangan dan beton adalah pada kondisi dimana terjadinya lekatan sempurna antara batang tulangan baja dengan beton yang telah

mengeras dan menyelubunginya sehingga tidak terjadi penggelinciran atau selip. Kondisi yang kedua adalah beton yang menyelubungi baja tulangan haruslah kedap terhadap udara dan air sehingga melindungi dan mencegah terjadinya korosif pada baja ataupun material lain sebagai tulangan. Kemudian kondisi yang ketiga adalah angka muai dari kedua bahan hampir sama.

2.2.3.2 Sistem Perencanaan

Pada dasarnya didalam perencanaan komponen struktur yang dibebani lentur, aksial ataupun kombinasi dari keduanya harus memenuhi ketentuan yang tertera didalam SNI 03-2847-2013, bilamana sifat – sifat dari tulangan bambu dianggap mendekati perilaku dari baja sebagai tulangan, maka perencanaan penampang yang dibebani lentur dan aksial harus didasarkan dan harus memenuhi asumsi dalam SNI 03-2847-2013 pasal 10, yaitu :

1. Regangan pada tulangan dan beton harus diasumsikan berbanding lurus dengan jarak dari sumbu netral. (SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.2)
2. Regangan maksimum yang dapat dimanfaatkan pada serat tekan beton terluar harus diasumsikan sama dengan 0,003. (SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.3)
3. Tegangan pada tulangan yang nilainya lebih kecil daripada kekuatan leleh f_y harus diambil sebesar E_s dikalikan regangan baja ($f_y = E_s \cdot \epsilon_s$). Untuk regangan yang nilainya lebih besar dari regangan leleh yang berhubungan dengan f_y , tegangan pada tulangan harus diambil sama dengan f_y . (SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.4)

4. Dalam perhitungan aksial dan lentur beton bertulang, kekuatan tarik beton harus diabaikan. (SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.5)
5. Hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan beton boleh diasumsikan berbentuk persegi, trapesium, parabola, atau bentuk lainnya yang menghasilkan perkiraan kekuatan yang cukup baik bila dibandingkan dengan hasil pengujian tekan. (SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.6)
6. Diagram distribusi tegangan tekan beton yang berbentuk parabola dapat diasumsikan menjadi persegi panjang dimana tegangan beton $0,85 \cdot f_c'$ terdistribusi merata setinggi $a = \beta_1 \cdot c$ dimana c adalah jarak serat tekan terluar terhadap garis netral. Untuk f_c' antara 17 dan 28 MPa, β_1 harus diambil sebesar 0,85. Untuk f_c' diatas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan kekuatan sebesar 7 MPa di atas 28 MPa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65. (SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7)

Dalam kondisi perencanaan keruntuhan lentur dibagi atas 3 jenis keruntuhan yaitu sebagai berikut :

a. Kondisi Keruntuhan Seimbang (*Balanced*)

$$(\epsilon_s = \epsilon_y, A_s = A_{sb}, \rho = \rho_b, f_s = f_y, \epsilon_{cu} = 0,003)$$

Pada kondisi keruntuhan seimbang, yang terjadi pada penampang beton adalah keadaan beton hancur (mencapai regangan maksimum) dan tulangan mulai leleh secara bersamaan. Pada awal terjadi keruntuhan, regangan tekan beton yang diijinkan pada serat tepi yang tertekan adalah maksimum 0,003, sedangkan regangan bambu sama dengan regangan lelehnya yaitu $\epsilon_y = f_y / E_s$.

Apabila akan dilakukan perencanaan struktur dengan kondisi seimbang (*balanced*) mempunyai pengertian bahwa tegangan bambu yang terjadi sama dengan tegangan lelehnya atau dengan kata lain tulangan tarik tepat mencapai tegangan leleh. Disampaikan juga bahwa struktur yang direncanakan dalam kondisi balanced akan menjadikan lelehnya tulangan tarik bersamaan dengan hancurnya beton. Menurut Ali asroni (2010) Sistem perencanaan beton bertulang pada penampang balok dengan keruntuhan seimbang (*balance*) merupakan kondisi perencanaan beton bertulang yang paling ideal akan tetapi cukup sulit untuk dicapai.

b. Kondisi Keruntuhan Tarik (*ductile failure*)

$$(\epsilon_s > \epsilon_y, A_s = A_{sb}, \rho < \rho_b, f_s = f_y, \epsilon_{cu} = 0,003)$$

Kondisi keruntuhan ditandai awal dengan terjadinya leleh pada tulangan tarik sebelum beton mengalami kehancuran. Hal ini berarti regangan tarik tulangan sudah mencapai titik leleh tetapi regangan tekan beton belum mencapai regangan batas 0,003. Tulangan ini harus terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan (ϵ_s) diatas regangan leleh (ϵ_y). Untuk perencanaan pada kondisi *under-reinforced* sedemikian rupa dibuat rasio tulangan (ρ) pasang lebih kecil daripada rasio tulangan (ρ) balanced sehingga jumlah tulangan relatif sedikit sehingga tulangan akan meleleh sebelum beton hancur, yang menghasilkan suatu ragam keruntuhan daktil (*ductile failure*) dengan deformasi besar. Pada balok yang mengalami keruntuhan daktil (*ductile failure*), pada saat tulangan mulai leleh dan betonnya masih kuat (belum hancur) sehingga kemungkinan terjadinya lendutan (*deflection*) pada

balok ketika dibebani beban yang cukup besar. Keadaan ini dinilai “Aman” dikarenakan lendutan yang terjadi cukup besar sebelum runtuh dan memungkinkan untuk “pengguna” dapat menyelamatkan diri. Kondisi perencanaan beton bertulang dengan kondisi *under-reinforced* pada keruntuhan daktil (*ductile failure*) lebih aman dan diperbolehkan.

c. Kondisi Keruntuhan Tekan (*brittle failure*)

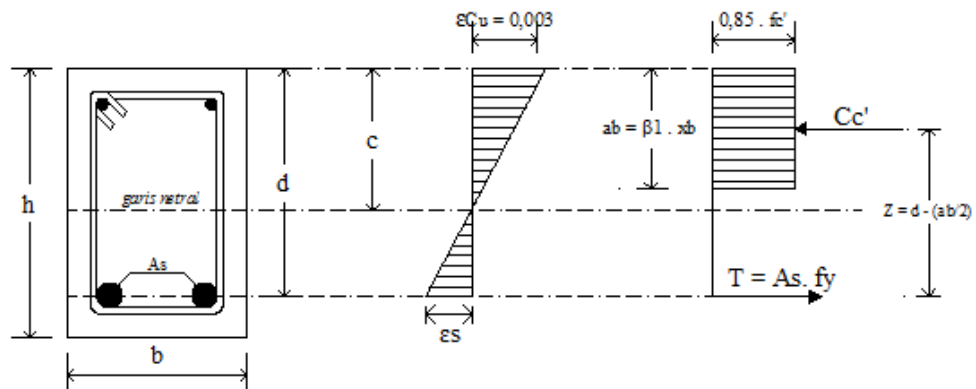
$$(\epsilon_s < \epsilon_y, A_s = A_{sb}, \rho > \rho_b, f_s = f_y, \epsilon_{cu} = 0,003)$$

Kehancuran ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan sebelum tulangan mengalami leleh. Pada awal keruntuhan, regangan tulangan (ϵ_s) yang terjadi masih kecil dari pada regangan lelehnya (ϵ_y). Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan (ρ) yang besar. Kondisi keruntuhan dengan model seperti ini disebut kondisi *over-reinforced*.

Pada kondisi ini tulangan terpasang relatif banyak yang akan menyebabkan tulangan untuk tetap berada pada kondisi elastis saat terjadinya kehancuran beton, yang menghasilkan ragam keruntuhan batas (*brittle failure*). Keruntuhan yang terjadi mendadak tanpa adanya tanda – tanda peringatan tentang lendutan yang membesar pada balok sehingga keadaan ini sangat berbahaya dan sistem perencanaan beton bertulang yang dapat mengakibatkan *over-reinforced* tidak diperbolehkan.

2.2.3.3 Analisa Lentur Balok Tulangan Tunggal

Diasumsikan keruntuhan yang terjadi pada benda uji adalah dalam kondisi seimbang (*balanced*) sehingga :



Gambar 2. 5 Diagram Distribusi Tegangan dan Regangan Balok Lentur Tulangan Tunggal

$$ab = \beta_1 \times (xb) \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan : β_1 = konstanta yang merupakan fungsi dari mutu beton

xb = jarak serat tekan garis terluar ke garis netral

Kontrol penggunaan tulangan dalam penampang adalah sebagai berikut :

$$\rho_{\text{minimum}} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\text{maksimum}}$$

$$\left[\frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{f_c'}}{f_y} \right] < \left[\frac{A_s \text{ pakai}}{b \times d} \right] < \left[0,75 \times \left\{ 0,85 \times \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right\} \times \frac{f_c'}{f_y} \right] \dots\dots\dots (2.5)$$

Nilai β_1 yang disyaratkan menurut SNI 03-2847-2013 :

$$\beta_1 = 0,85 \quad ; \text{ untuk } f_c' \leq 28 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - ((f_c' - 28) \cdot (0,05/7)) ; \text{ untuk } f_c' \geq 30 \text{ MPa}$$

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times a_b \dots\dots\dots (2.6)$$

$$T = A_s \times f_y \dots\dots\dots (2.7)$$

$$d = h - \text{selimut beton} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ bambu} \dots\dots\dots (2.8)$$

Berlaku momen Kopel,

$$C_c' = T ; M_n = (C_c' \text{ atau } T) \times \left(d - \frac{a_b}{2} \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$0,85 \times f_c' \times a_b \times b = \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \times f_y$$

$$a_b = \rho \times \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \right) \times d$$

$$\text{Karena } \rho_{\text{pakai}} = \left(\frac{A_s \text{ pakai}}{b \times d'} \right) \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\text{sehingga, } a_b = \left(\frac{A_s \text{ pakai} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \dots\dots\dots (2.11)$$

Sehingga Momen yang dapat ditahan oleh penampang balok adalah sebagai berikut:

$$\text{Momen nominal, } M_n = T \times Z$$

$$= (A_s \times f_y) \times \left(d - \frac{a_b}{2} \right) \dots\dots\dots (2.12)$$

2.2.4 Sambungan Lewatan Tulangan

Adanya kemungkinan menyambung tulangan longitudinal didalam beton bertulang harus disesuaikan dengan persyaratan sambungan lewatan yang ada. Sambungan lewatan pada tulangan diharapkan mampu bekerja secara baik dan monolit sehingga ketika suatu konstruksi balok terkena beban dengan kekuatan nominal lentur maksimum tidak terjadinya kegagalan pada daerah yang ada sambungan lewatannya dan juga agar penyaluran gaya terhadap batang tulangan bekerja sempurna. Adapun itu diharapkan sambungan lewatan tidak dilakukan pada daerah dengan momen lentur maksimum (momen lapangan).

Daktilitas antara beton dan tulangan baja yang menggunakan sambungan lewatan harus tetap sama dibandingkan dengan dengan yang tanpa sambungan lewatan. Kebutuhan akan panjang lewatan bertambah sesuai dengan meningkatnya tegangan dan bertambahnya jumlah luas penampang tulangan pada sambungan. (Istimawan Dipohusodo, 1993)

Sambungan lewatan merupakan salah satu cara dalam metode penyambungan tulangan yang terpasang didalam beton. Menurut SNI 2847- 2013 mensyaratkan bahwa panjang minimum lewatan dari tulangan yang disambung adalah terbagi kedalam 2 kelas yaitu A dan B sedangkan pada SK SNI T-15-1991-03 mensyaratkan panjang minimum sambungan lewata adalah terbagi kedalam 3 kelas yaitu A, B dan C.

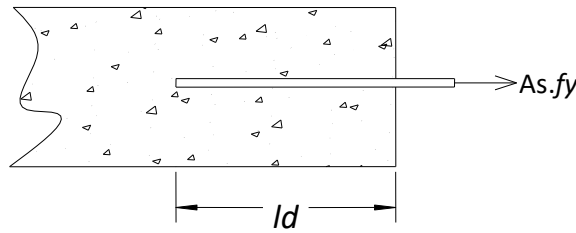
- Kelas A : panjang sambungan lewatan sebesar $1,0 l_d$
- Kelas B : panjang sambungan lewatan sebesar $1,3 l_d$
- Kelas C : panjang sambungan lewatan sebesar $1,73 l_d$

ld (*length development*) merupakan panjang penyaluran tarik tulangan yang tertanam didalam beton sesuai dengan peraturan yang ada dengan menyesuaikan dengan kuat leleh tulangan (F_y) yang terpasang.

Besar dari panjang lewatan dibedakan atas beberapa kelas sambungan dengan tujuan mendapatkan hasil dari *overlapping* tulangan yang disambung sehingga memberikan gaya tarik pada sambungan sama dengan kekuatan tulangan. Pada praktekan dikondisi lapangan pekerjaan, biasanya tulangan yang disambung dan penyambungannya ditempelkan pada daerah overlapping tersebut. Pada balok dengan tulangan yang disambung dengan cara lewatan (*overlapping*), peraturan SNI maupun CSA Standard menyarankan hal yang sama yaitu panjang lewatan sambungan sebesar 1,3 kali panjang penyaluran, untuk kondisi umum atau dapat dipakai sebesar 1,0 kali panjang penyaluran, jika tulangan yang dipakai ≥ 2 kali yang dibutuhkan, dan sambungan tidak dilakukan pada satu tempat.

2.2.5 Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran (*ld*) adalah panjang tulangan yang tertanam di dalam beton (*embedment lenght*) yang menjamin tulangan tertarik tepat saat tegangan elastis, mencapai tegangan leleh (f_y) dan saat tegangan putus (f_r). Adapun model penanaman tulangan dalam beton tampak seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Panjang Tulangan (l_d) Yang Tertanam Dalam Beton

Berdasarkan R. Park dan T. Paulay menyimpulkan bahwa untuk menghitung nilai panjang penyaluran terhadap tegangan lekatan adalah dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$T = A_b f_y = u \sum l_d \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\mu = \frac{db \times f_y}{4 \times l_d} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\text{atau} \quad l_d = \frac{db \times f_s}{4 u} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

- T = Gaya tarik (Mpa)
- μ = tegangan lekat (Mpa)
- l_d = panjang penyaluran (mm)
- f_s = tegangan leleh tulangan (Mpa)
- db = diameter tulangan (mm)

2.2.6 Lendutan Teoritis Balok Beton Bertulang

2.2.6.1 Pengertian Lendutan Secara Umum

Suatu elemen pada konstruksi haruslah memiliki persyaratan untuk memiliki kekakuan yang cukup tegar untuk dapat menahan beban – beban yang bekerja. Salah satu parameter persyaratan yang ditinjau pada elemen struktur adalah lendutan (*deflection*). Elemen pada struktur bangunan khususnya pada balok lentur tidak diijinkan untuk melentur terlalu berlebihan, hal ini bertujuan untuk mengurangi/ meniadakan pengaruh psikologis (ketakutan) dari segi kenyamanan pemakainya.

Lendutan (*deflection*) merupakan sebuah bentuk deformasi atau perubahan bentuk dari elemen struktur terhadap arah vertikal Y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. Deformasi pada balok secara sangat mudah dapat dijelaskan berdasarkan defleksi balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi.

Beberapa hal yang mempengaruhi dari besaran Lendutan (*deflection*) yang terjadi adalah sebagai berikut :

1. Kekakuan batang

Semakin kaku suatu batang maka lendutan batang yang akan terjadi pada batang akan semakin kecil. Hal ini berkaitan dengan nilai modulus elastisitas dari suatu bahan pada elemen.

2. Beban yang bekerja

Besar – kecilnya gaya yang diberikan atau bekerja pada batang dan elemen struktur lainnya berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi. Dengan kata lain semakin besar beban yang dialami batang maka defleksi yang terjadi pun semakin besar.

3. Jenis tumpuan yang diberikan

Jika karena itu besarnya defleksi pada penggunaan tumpuan yang berbeda-beda tidaklah sama. Semakin banyak reaksi dari tumpuan yang melawan gaya dari beban maka defleksi yang terjadi pada tumpuan rol lebih besar dari tumpuan pin (pasak) dan defleksi yang terjadi pada tumpuan pin lebih besar dari tumpuan jepit.

4. Jenis beban yang terjadi

Pada batang beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata slope yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari slope titik. Ini karena sepanjang batang mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu saja (Binsar Hariandja 1996).

2.2.6.2 Pengaruh Lendutan Pada Balok Retak

Seiring bertambahnya umur dan juga beban yang bekerja pada suatu struktur balok akan terjadi perubahan bentuk dan momen inersia dari penampang balok yang disebabkan oleh adanya keretakan. Kondisi tersebut mengakibatkan adanya reduksi kekakuan dari balok tersebut untuk menahan adanya lendutan dan

sudah tidak mampu memberikan daya layan yang baik untuk mendukung struktur serta memberi rasa nyaman. Metode-metode yang mengatur batasan-batasan atau kontrol dalam perhitungan mengenai perubahan inersia penampang serta dampaknya terhadap lendutan, diambil dari beberapa literatur dan juga peraturan beton bertulang yang ada.

2.2.6.3 Menentukan Lendutan Teoritis Balok

a. Menentukan Momen Inersia Efektif (I_e)

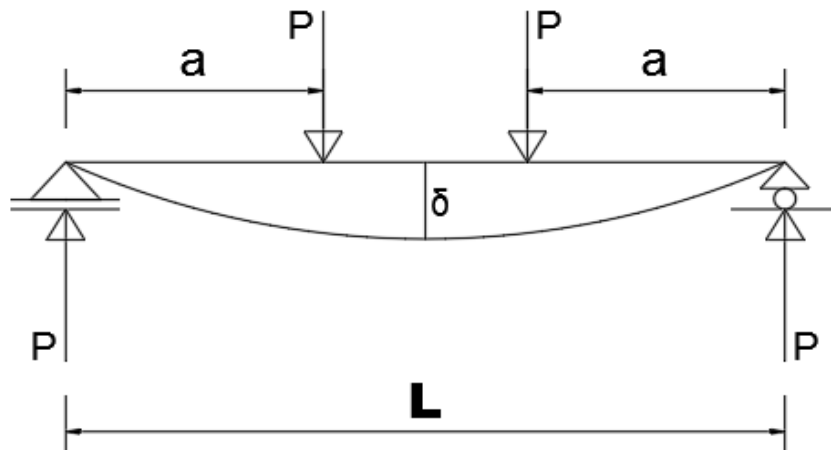
$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^3 \right] I_{cr} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

- M_{cr} = $\left(\frac{F_r \times I_g}{Y_t} \right)$, momen retak.
- F_r = $(0,7 \times \sqrt{f_c'})$, tegangan retak.
- Y_t = Jarak dari garis netral terhadap serat tarik ekstrim
(diambil $y_t = \frac{1}{2} h$ balok)
- M_{maks} = Momen maksimum yang terjadi pada penampang balok akibat beban pengujian dan berat sendiri.
- I_g = Momen inersia dari penampang bruto beton yang tidak retak.
- I_{cr} = $\frac{bc^3}{3} + n.A_s (d-c)^2$, Momen inersia dari penampang retak transformasi.
- n = Perbandingan modulus tulangan dan beton
(*modulus ratio*).
- c = Jarak dari serat tekan terluar ke garis sumbu netral.

b. Menghitung Lendutan Teoritis Batang

1. Akibat Beban Pengujian



Gambar 2. 7 Skema Defleksi Maksimum untuk Beban Terpusat dari Pengujian

$$EI.\delta = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{L}{2}\right)\left(\frac{PL}{2}\right)\left(\frac{2L}{3}\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{L-2a}{2}\right) \times \left[-\left(\frac{PL}{2} - Pa\right)\right] \left[a + \frac{2}{3}\left(\frac{L-2a}{2}\right)\right]$$

$$EI.\delta = \frac{PL^2a}{8} - \frac{Pa^3}{6}$$

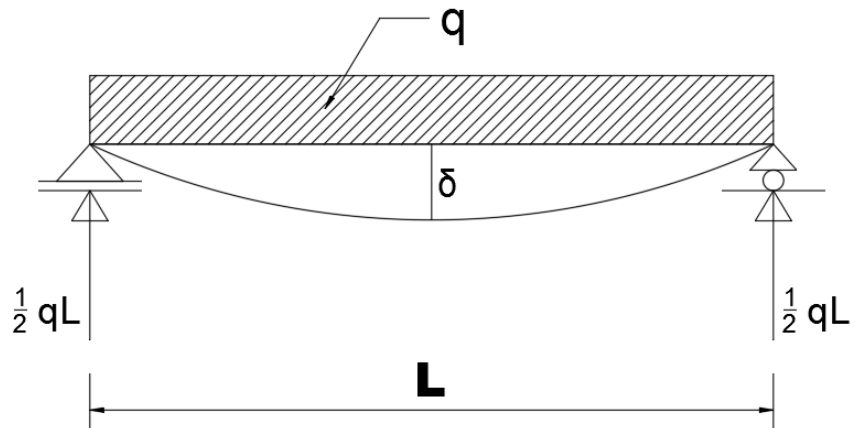
$$\delta \text{ maks} = \left(\frac{P.L^3}{24 E_c I_e}\right) \left(\frac{3a}{L} - \frac{4a^3}{L^3}\right) \dots\dots\dots (2.17)$$

(diasumsikan lendutan maksimum terjadi pada $\frac{1}{2}$ bentang)

Keterangan :

- L = Panjang bentang
- P = Beban terpusat dari pengujian
- E_c = Modulus elastisitas beton (rumus pada pasal 2.3)
- I_e = Momen inersia efektif (rumus pada pasal 2.16)

2. Akibat Beban Mati (*Selfweight*)



Gambar 2. 8 Skema Defleksi Maksimum untuk Beban Mati (*Selfweight*)

$$\delta_{\text{maks}} = \left(\frac{5 \cdot q \cdot L^3}{384 E_c I_e} \right) \dots\dots\dots (2.18)$$

(diasumsikan lendutan maksimum terjadi pada $\frac{1}{2}$ bentang)

Keterangan :

- L = Panjang bentang
- q = Beban sendiri elemen balok (*selfweight*)
- E_c = Modulus elastisitas beton (rumus pada pasal 2.3)
- I_e = Momen inersia efektif (rumus pada pasal 2.16)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Dalam penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode tersebut digunakan untuk meneliti permasalahan yang telah diajukan sebelumnya pada rumusan masalah. Selain itu juga penulis perlu menambahkan wawasan secara deskriptif dari kepustakaan yaitu teori ataupun penelitian sebelumnya yang relevan. Tujuannya adalah untuk meningkatkan dan memperkuat materi pembahasan maupun untuk menganalisa dan mendesain struktur permasalahan. Kepustakaan yang digunakan terdiri dari teks book, jurnal ilmiah dan hasil penelitian, peraturan dan standart nasional maupun internasional, seperti yang akan terlampir dalam daftar pustaka.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan secara eksperimental yang akan dilaksanakan pada bulan Juli – Oktober 2016. Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang dan Laboratorium Struktur Universitas Negeri Malang. Penelitian yang akan dilakukan terbagi kedalam 2 (dua) kelompok pengujian yaitu tentang pengaruh letak perlakuan pengasaran permukaan tulangan bambu dengan menggunakan lilitan kawat pada konstruksi balok lentur dan juga pengaruh sambungan lewatan yang digunakan pada konstruksi balok lentur.

3.3 Parameter Penelitian

Parameter penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Diameter Nominal Tulangan Bambu

Adapun prosedur yang harus dilakukan dalam mengukur diameter nominal tulangan bambu adalah sebagai berikut :

- a. Menghitung diameter nominal tulangan
- b. Menghitung luas nominal tulangan

2. Mutu Beton

Dalam penelitian ini digunakan beton dengan kekuatan tekan beton sebesar 20 MPa. Mutu beton tersebut kemudian direncanakan dengan cara mix design menggunakan metode ACI/ British 1986. Dasar pemilihan mutu beton rencana untuk beton bertulangan bambu dalam penelitian ini adalah tidak kurang dari 17 MPa. Hal ini disesuaikan dengan persyaratan yang diatur dalam persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dalam pasal 1.1.1 SNI 2847-2013.

3. Dimensi Balok

Dimensi penampang balok yang digunakan adalah dengan lebar, $b = 80 \text{ mm}$ tinggi, $h = 120 \text{ mm}$. Balok direncanakan memiliki panjang, $L = 1500 \text{ mm}$ dengan jarak antar tumpuan adalah 1200 mm.

4. Selimut Beton

Selimut beton yang digunakan dalam penampang balok adalah sebesar 10 mm

5. Tulangan Bambu

Dalam penelitian ini bambu yang digunakan sebagai tulangan utama atau tulangan longitudinal adalah jenis Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*) yang terletak didaerah Kecamatan Junrejo, Kota Batu. Bambu ini memiliki tebal dinding 0,75 sampai 1,80 cm, jarak ruas bambu 35 sampai 60 cm. Bambu yang digunakan dipilih dalam keadaan sehat tanpa cacat (tidak berlubang akibat rayap) serta memiliki umur bambu ketika dipanen adalah lebih dari tiga tahun.

Dalam perencanaan tulangan, balok diasumsikan sebagai balok bertulangan tunggal. Tulangan utama merupakan tulangan tarik yaitu berdiameter (\emptyset) 10 mm berpenampang bulat. Bentuk treatment yang dilakukan pada tulangan bambu adalah dengan melapisi permukaan bambu dengan lem kayu epoxy. Selain itu sebagai bentuk perlakuan pengasaran permukaan menggunakan lilitan kawat berdiameter 1,2 mm dengan jarak spasi sebesar 3 mm. Perlakuan pengasaran ini diambil pengasaran paling optimum terhadap kekuatan lekatan tulangan dari hasil penelitian skripsi yang sebelumnya pernah dilakukan oleh Anton Prasetyawan (2015).

6. Tulangan Geser

Tulangan geser yang digunakan adalah kawat aluminium (kawat putih) berdiameter (\emptyset) 3 mm dengan jarak antar sengkang (s) adalah 200 mm.

3.4 Peralatan Pengujian Penelitian

Suatu penelitian yang dilakukan baik di dalam maupun di luar ruangan haruslah di dukung oleh peralatan pengujian penelitian yang dibutuhkan. Hal ini dilakukan supaya hasil dari penelitian dapat dipertanggungjawabkan baik secara teori maupun hasil uji coba dari penelitian. Pada penelitian ini digunakan alat-alat penelitian yang memang dibutuhkan dan mendukung tujuan dari penelitian. Adaapun peralatan – peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain adalah :

1. Kerucut Abrams dengan diameter bagian bawah 20 cm bagian atas 10 cm dan tinggi 30 cm beserta talam dan tongkat pemadat besi, untuk pengujian kelecakan adukan beton (nilai slump).
2. Alat UTM (*Universal Testing Machine*), untuk menguji kuat tarik tulangan dengan kapasitas maksimum 1000 kN.
3. Alat uji tekan beton (*Compression Testing Machine*), untuk menguji kuat tekan beton pada benda uji.
4. Alat uji lentur balok beton (*Loading Frame*), untuk menguji kuat lentur pada balok. Alat ini berupa struktur portal baja yang cukup kuat dan kaku, dengan tumpuan sendi roll yang dapat di *setting – up*. Alat ini digunakan sebagai tempat/ perletakan benda uji balok pada saat pengujian.
5. Hidraulic jack, Alat ini digunakan untuk memberi beban vertikal pada benda uji. Pada penelitian ini *hydraulic jack* yang digunakan mempunyai merk Enerpac P-84, mempunyai dial pembacaan maksimum 8,0 tonf dengan ketelitian 0,05 tonf.

6. Load Cell, sebagai alat dari pembacaan beban yang diberikan oleh hydraulic jack secara vertical kebawah/ benda uji.
7. Electircal Strain Gauge, Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya regangan yang terjadi pada tulangan dan pada beton balok uji untuk setiap tahapan pembebanan. Elelctrical Strain Gauge yang digunakan pada penelitian ini adalah Tipe FLA – 6 – 11 dengan merk dagang Tokyo Sokki Kenkjuyo Co., Ltd.
8. Strain indicator, Alat ini digunakan untuk membaca regangan yang terjadi pada electrical strain gauge. Pada penelitian ini digunakan strain indicator P-3500 produksi Vishay Group, selain itu alat ini juga dilengkapi dengan alat tambahan yaitu Switch and Balance Unit SB-10 yang mampu membaca regangan hingga 10 buah titik pemasangan electrical strain gauge.
9. Dial Gauge, untuk mengukur lendutan balok beton yang terjadi untuk setiap tahap pembebanan. Pada penelitian ini dial gauge yang digunakan mempunyai merk Mitutoyo dengan kapasitas 30 mm dan mempunyai ketelitian hingga 0,01 mm. Dial gauge dipasang pada $\frac{1}{3}$ L dan $\frac{1}{2}$ L bentang balok.

3.5 Model Analisa

Model analisa yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Analisa perilaku lentur pada konstruksi balok beton bertulangan bambu dengan perbedaan perlakuan pada letak pengasaran permukaan dengan spasi 3 mm dan sambungan tulangan.
2. Analisa pengaruh pada perlakuan letak pengasaran permukaan tulangan dan sambungan lewatan pada konstruksi balok beton bertulangan bambu terhadap nilai regangan daripada tulangan yang terpasang.
3. Analisa pengaruh pada perlakuan letak pengasaran permukaan tulangan dan sambungan lewatan pada konstruksi balok beton bertulangan bambu terhadap lendutan (*displacement*) yang terjadi.

3.6 Pelaksanaan Penelitian

Adapun langkah – langkah pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

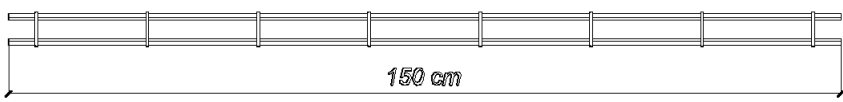
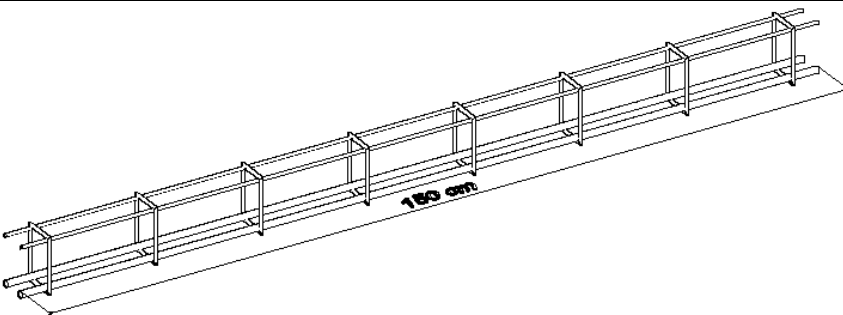
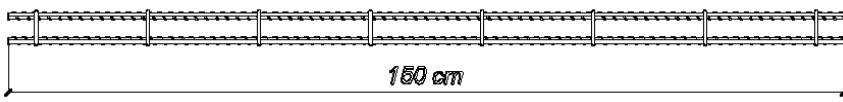
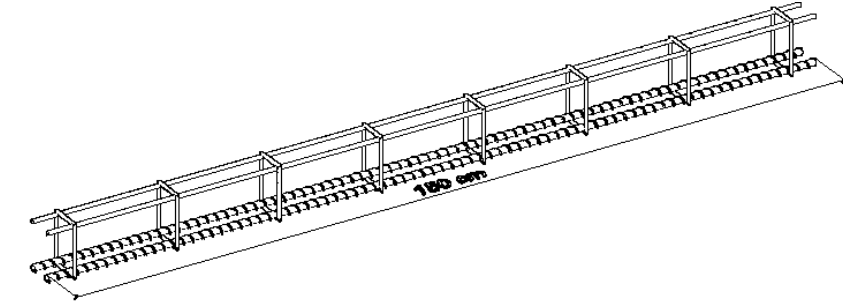
3.6.1 Tahap Persiapan

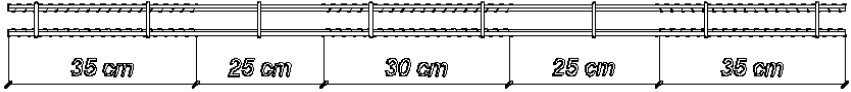
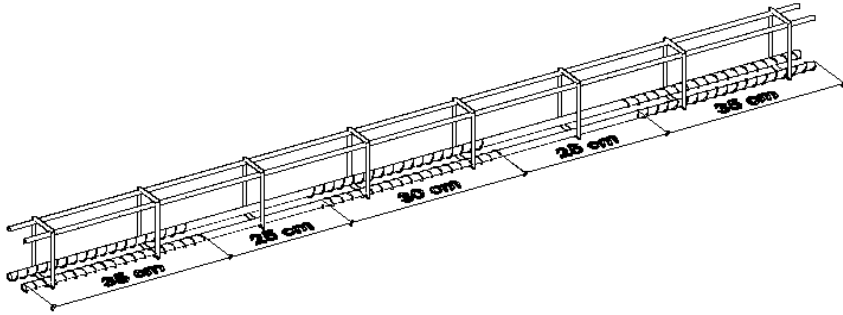
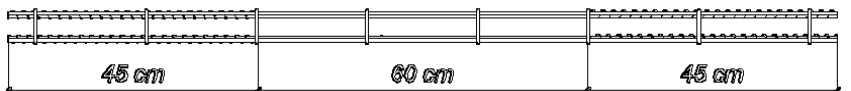
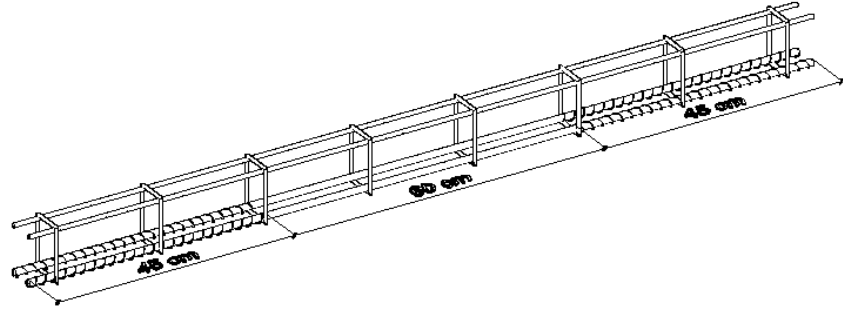
Tahap persiapan yang dilakukan adalah persiapan bahan dan perlengkapan dengan tujuan agar selama penelitian, semua kebutuhan bahan dan perlengkapan yang digunakan adalah bahan yang sudah siap pakai dan sesuai dengan persyaratan yang diatur dalam ASTM C1436-99 sehingga nantinya didapatkan hasil yang baik, terukur dan sesuai dengan standar peraturan. Adapun langkah – langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Persiapan tulangan bambu, yaitu memilih dan memotong bambu yang akan digunakan dengan karakteristik bambu berumur cukup tua (± 3 tahun), tidak memiliki cacat di permukaan bambu. Kemudian selanjutnya memotong dan meraut permukaan bambu dengan panjang 150 cm dan berdiameter ± 10 mm. Selanjutnya adalah melapisi permukaan bambu dengan lem kayu (Epoxy) dengan merk Avian, setelah permukaan kering kemudian pemberian perlakuan pengasaran pada permukaan bambu dengan cara meliliti dengan kawat berdiameter 1,2 mm dengan jarak spasi 3 mm membentuk spiral. Perlakuan pengasaran permukaan kemudian dibedakan atas 3 varian letak posisi. Tulangan bambu perlu untuk diperiksa tegangan tarik bambu, dalam pemeriksaan ini menyerupai dengan uji tarik yang dilakukan pada material baja sesuai dengan ASTM (*American Society of Testing and Materials*) C370 – 94, sedangkan alat yang akan digunakan dalam pemeriksaan ini adalah alat uji tarik UTM (*Universal Testing Machine*). Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pemeriksaan ini adalah pengukuran terhadap diameter dan luas penampang tulangan bambu. Parameter yang digunakan untuk menentukan tegangan tarik bambu adalah gaya maksimum tarik yang mampu ditahan dan luas penampang tulangan.
- b. Persiapan tulangan geser transversal yang digunakan, yaitu memotong dan membentuk tulangan sengkang dari kawat aluminium diameter 3 mm dengan ukuran sengkang 6 cm x 10 cm dengan jarak pemasangan (s) adalah 20 cm.

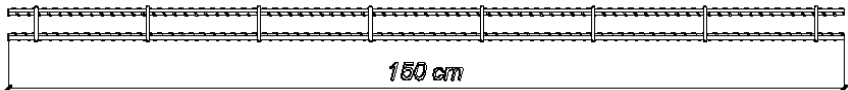
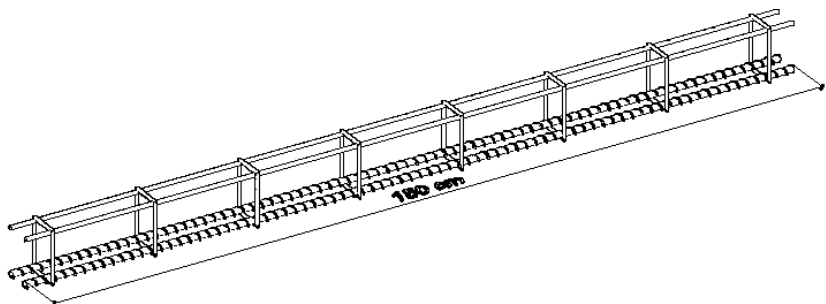
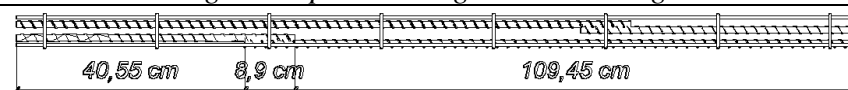
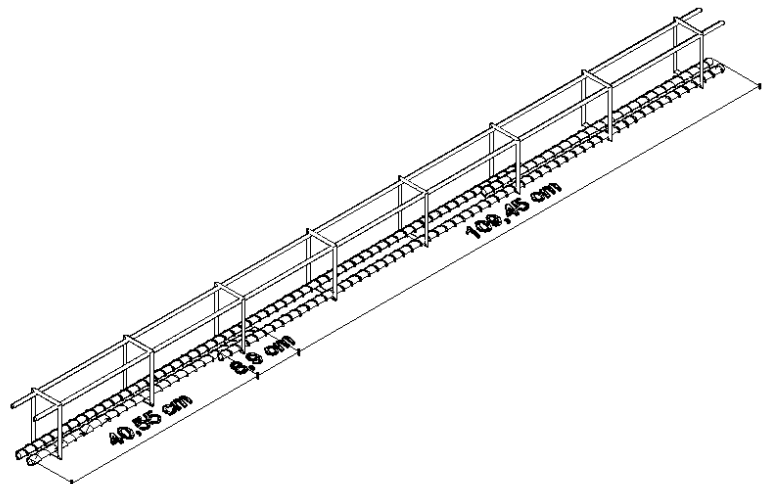
3.6.2 Tahap Perencanaan Bentuk Benda Uji

3.6.2.1 Kelompok ke-1 (pengaruh pengasaran permukaan tulangan)

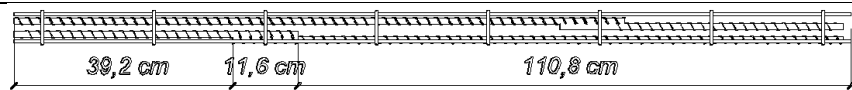
<i>Daerah Lilitan</i>	Skema
Polos (Tanpa lilitan)	 <p><i>Gambar 3. 1 Tampak Atas Rencana Penulangan Benda Uji Tanpa Lilitan</i></p>
	 <p><i>Gambar 3. 2 Tampak Perspektif Rencana Penulangan Benda Uji Tanpa Lilitan</i></p>
Full/ Penuh	 <p><i>Gambar 3. 3 Tampak Atas Rencana Penulangan Benda Uji Lilitan Penuh</i></p>
	 <p><i>Gambar 3. 4 Tampak Perspektif Rencana Penulangan Benda Uji Lilitan Penuh</i></p>

Daerah Ujung – Tengah – Ujung	 <p>Gambar 3. 5 Tampak Atas Rencana Penulangan Benda Uji Lilitan Pada Daerah Ujung - Tengah</p>
	 <p>Gambar 3. 6 Tampak Perspektif Rencana Penulangan Benda Uji Lilitan Pada Daerah Ujung - Tengah</p>
Daerah Ujung – Ujung	 <p>Gambar 3. 7 Tampak Atas Rencana Penulangan Benda Uji Lilitan Pada Daerah Ujung - Ujung</p>
	 <p>Gambar 3. 8 Tampak Perspektif Rencana Penulangan Benda Uji Lilitan Pada Daerah Ujung - Ujung</p>

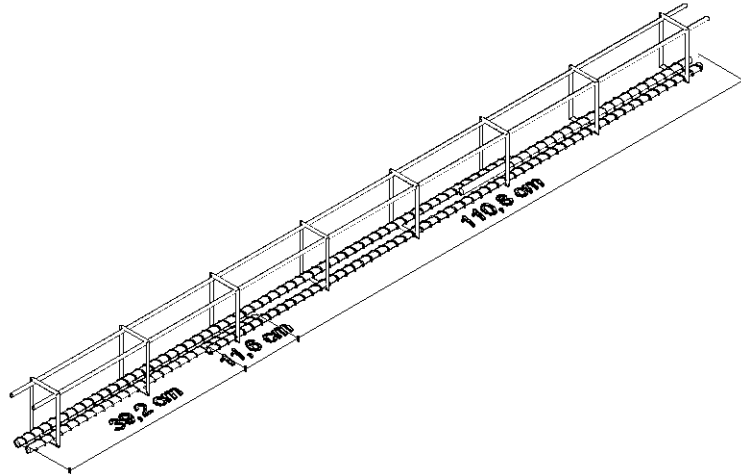
3.6.2.2 Kelompok ke-2 (pengaruh sambungan lewatan tulangan)

<i>Ls Lap Splice</i>	Skema
Tanpa Sambungan	 <p>Gambar 3. 9 Tampak Atas Rencana Penulangan Benda Uji Dengan Tanpa Sambungan Pada tulangan</p>  <p>Gambar 3. 10 Tampak Perspektif Rencana Penulangan Benda Uji Dengan Tanpa Sambungan Pada tulangan</p>
Ls 1 (1,0 Ld)	 <p>Gambar 3. 11 Tampak Atas Rencana Penulangan Benda Uji Dengan sambungan Lewatan Tulangan Sebesar 1,0 Ld</p>  <p>Gambar 3. 12 Tampak Perspektif Rencana Penulangan Benda Uji Dengan sambungan Lewatan Tulangan Sebesar 1,0 Ld</p>

Ls 2
(1,3 Ld)

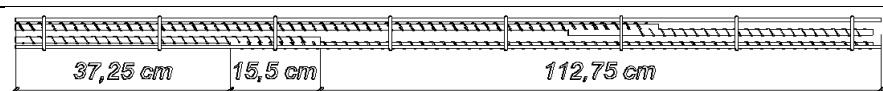


Gambar 3. 13 Tampak Atas Rencana Penulangan Benda Uji Dengan sambungan Lewatan Tulangan Sebesar 1,3 Ld

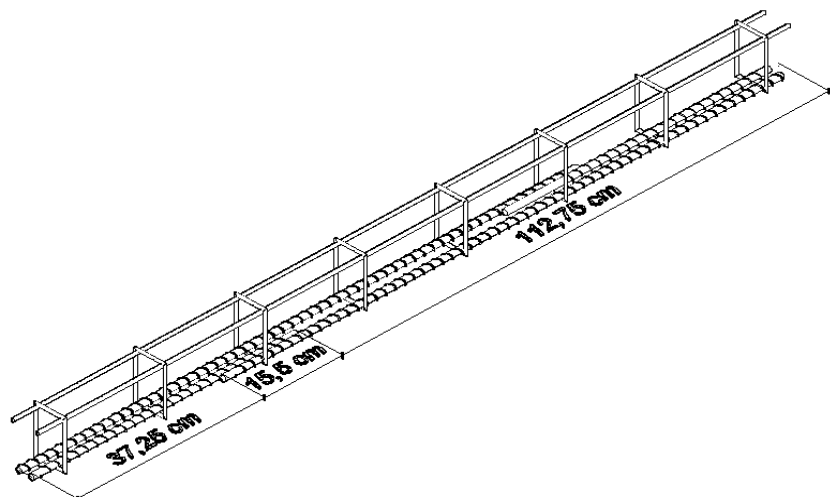


Gambar 3. 14 Tampak Perspektif Rencana Penulangan Benda Uji Dengan sambungan Lewatan Tulangan Sebesar 1,3 Ld

Ls 3
(1,7 Ld)



Gambar 3. 15 Tampak Atas Rencana Penulangan Benda Uji Dengan sambungan Lewatan Tulangan Sebesar 1,7 Ld



Gambar 3. 16 Tampak Perspektif Rencana Penulangan Benda Uji Dengan sambungan Lewatan Tulangan Sebesar 1,7 Ld

3.6.3 Tahap Perancangan Adukan Beton

Dalam merencanakan Proporsi campuran beton segar diperlukannya suatu perancangan adukan beton (*Mix design*) yang disesuaikan dengan data hasil pengujian bahan/material. Metode yang digunakan untuk perancangan adukan beton (*Mix design*) dalam penelitian ini adalah metode ACI (*American Concrete Institute*) dengan kekuatan tekan beton sebesar 20 MPa. Dalam Metode ACI lebih melihat kenyataan bahwa ukuran maksimum agregat, jumlah air terhadap semen (w/c) menentukan tingkat konsistensi dari kelecakan beton (nilai slump).

3.6.4 Tahap Pengadukan Campuran Beton

Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pengadukan campuran beton (*Mixing*) adalah rasio air terhadap semen dan juga homogenitas dari beton. Untuk mengukur kelecakan pada beton segar diperlukannya pemeriksaan nilai slump dari tiap kegiatan pengadukan campuran beton. Nilai slump didapat dari selisih tinggi antara kerucut abrams dengan permukaan atas dari adukan beton setelah dilepas dari kerucut abrams.

3.6.5 Tahap Pembuatan Benda Uji

Tujuan dari proses pembuatan benda uji adalah untuk membuat benda uji yang dipakai di dalam penelitian dengan mengacu pada standar benda uji yang diatur di dalam peraturan baik nasional maupun internasional. Adapun langkah-langkah yang dilakukan, antara lain :

- a. Penentuan dimensi benda uji

Proses ini bertujuan membatasi di dalam pembuatan bentuk dan dimensi benda uji tidak menyimpang jauh dari yang disyaratkan. Benda uji yang

digunakan untuk mengecek kuat tekan beton atau mutu beton adalah silinder 150 mm x 300 mm sedangkan benda uji untuk analisa balok lentur dengan ukuran 80 mm x 120 mm x 1500 mm.

b. Penentuan jumlah benda uji

Tujuan dari proses ini adalah untuk membatasi pada permasalahan yang dibahas di dalam penelitian, selain itu juga disesuaikan pada perlakuan pengujian yang akan dilakukan. Pada penelitian ini digunakan 3 (tiga) kelompok pengujian yaitu kelompok pertama untuk menguji pengaruh perlakuan letak pengasaran permukaan terhadap kekuatan lentur, kelompok kedua untuk menguji pengaruh panjang sambungan lewatan terhadap kekuatan lentur dan kelompok ketiga untuk menguji pengaruh tulangan geser terhadap kekuatan lentur dan daktilitas. Adapun variasi benda uji berupa balok untuk uji lentur dapat dilihat pada tabel 3.1 sedangkan benda uji berupa silinder untuk uji kuat tekan beton (mengecek mutu beton aktual sebagai data dalam perhitungan model matematis) dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3. 1 Variasi benda uji penelitian Uji lentur berupa balok

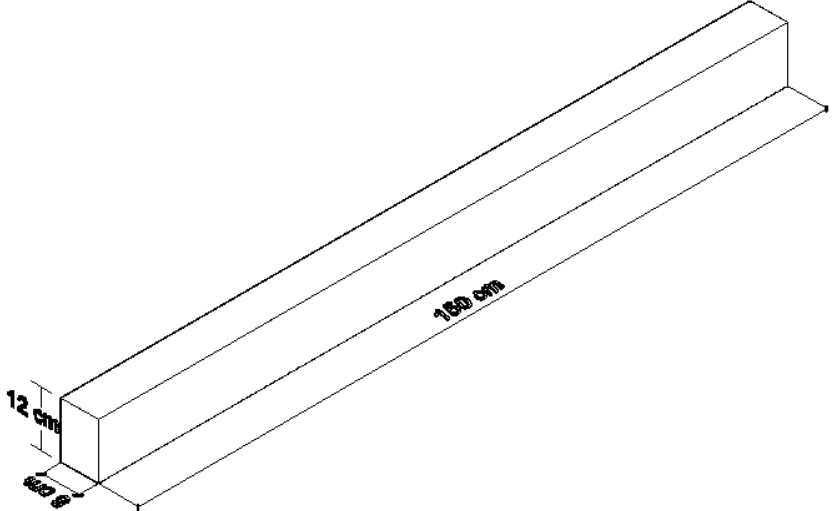
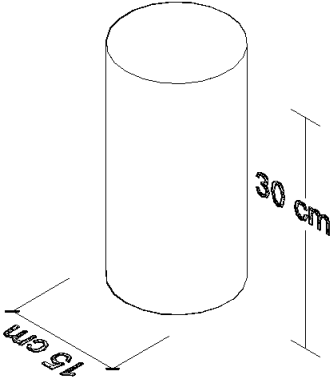
Kelompok Pengujian	Bentuk Perlakuan	Jumlah Benda Uji	F'c MPa	Kode Sampel Benda Uji
A	Tanpa lilitan/ Polos	3 buah	20	Polos - 1 Polos - 2 Polos - 3
	Lilitan Full/ Penuh	3 buah	20	Full - 1 Full - 2 Full - 3
	Lilitan Ujung – Tengah - Ujung	3 buah	20	U – T - U - 1 U – T - U - 2 U – T - U - 3
	Lilitan Ujung - Pangkal	3 buah	20	U - U - 1 U - U - 2 U - U - 3
B	Sambungan Jenis 1 (1,0 x Ld)	3 buah	20	Ls 1 - 1 Ls 1 - 2 Ls 1 - 3
	Sambungan Jenis 2 (1,3 x Ld)	3 buah	20	Ls 2 - 1 Ls 2 - 2 Ls 2 - 3
	Sambungan Jenis 3 (1,7 x Ld)	3 buah	20	Ls 3 - 1 Ls 3 - 2 Ls 3 - 3

Tabel 3. 2 Variasi benda uji penelitian uji kuat tekan berupa silinder

Kelompok Pengujian	Nomor Cor	Pelaksanaan Cor	Jumlah Benda Uji	F'c	Kode Sampel
A	Cor 1	Hari 1	3 buah	20	Polos
	Cor 2	Hari 1	3 buah	20	Full
	Cor 3	Hari 1	3 buah	20	U – T - U
	Cor 4	Hari 1	3 buah	20	U – U
B	Cor 1	Hari 2	3 buah	20	Ls 1
	Cor 2	Hari 2	3 buah	20	Ls 2
	Cor 3	Hari 2	3 buah	20	Ls 3

Keterangan :

- Mutu beton (kuat tekan beton) dilambangkan dengan angka $f_c' = 20$ dalam satuan MegaPascal (MPa).
- Dalam satu jenis variabel penelitian diambil 3 buah sampel
- Ukuran benda uji balok 80 mm x 120 mm x 1500 mm
- Ukuran benda uji silinder 150 mm x 300 mm
- Kelompok A merupakan pengujian pertama yang meneliti terkait pengaruh letak pengasaran terhadap kekuatan lentur, regangan dan lendutan.
- Kelompok B merupakan pengujian kedua yang meneliti terkait pengaruh panjang sambungan lewatan terhadap kekuatan lentur, regangan dan lendutan.

Bentuk Benda Uji	Skema
Balok	 <p data-bbox="596 949 1206 987"><i>Gambar 3. 17 Tampak Bentuk Benda uji Balok</i></p> $ \begin{aligned} \text{Volume} &= p \times l \times h \\ &= 1,5 \text{ m} \times 0,08 \text{ m} \times 0,12 \text{ m} \\ &= 0,0144 \text{ m}^3 \end{aligned} $
Silinder	 <p data-bbox="580 1532 1222 1570"><i>Gambar 3. 18 Tampak Bentuk Benda Uji Silinder</i></p> $ \begin{aligned} \text{Volume} &= (1/4 \times 3,14 \times \text{diameter}^2) \times \text{tinggi} \\ &= (1/4 \times 3,14 \times 0,15^2 \text{ m}) \times 0,3 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3 \end{aligned} $

3.6.6 Tahap Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dilakukan pada penelitian ini adalah dengan cara merendam benda uji didalam air selama 28 hari dengan tujuan agar menjaga agar permukaan beton selalu lembab sejak adukan beton dipadatkan hingga mengeras seutuhnya. Selain itu proses perendaman ini juga untuk menjamin proses hidrasi semen (pengikatan hidrolis semen) agar berjalan sempurna. (Tjokrodinuljo,1996)

3.6.7 Tahap Pengujian

Beberapa kegiatan penelitian yang dilakukan dalam uji laboratorium adalah sebagai berikut :

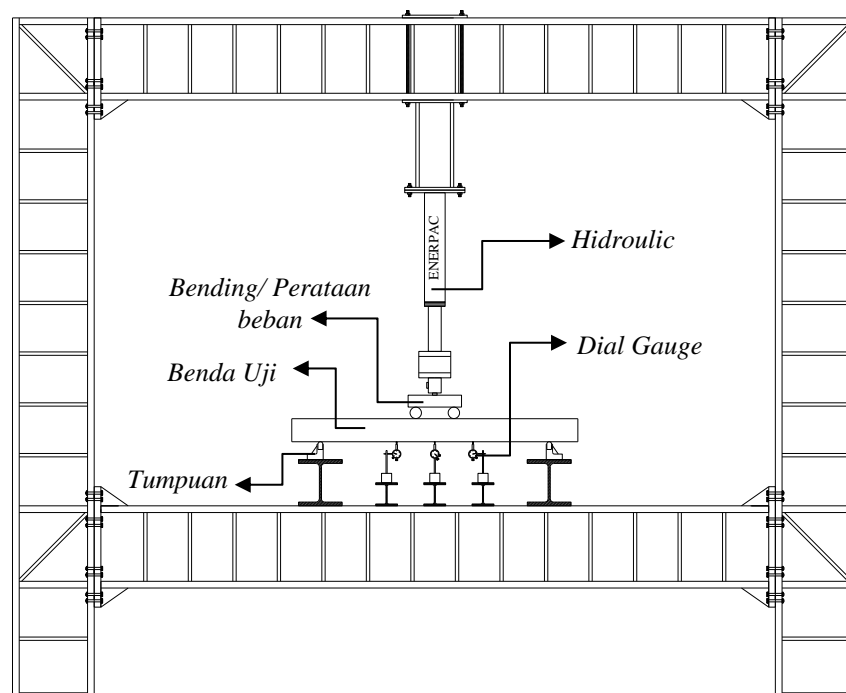
a. Uji Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton (*compressive strength*) akan diperoleh dengan melakukan pengujian tekan axial pada benda uji silinder 150 x 300 mm dengan sebanyak 3 buah benda uji yang mewakili campuran beton dari tiap pelaksanaan cor beton (*mixing*) yang telah melalui proses perawatan benda uji (*Curing*) dan berumur 28 hari setelah pengecoran.

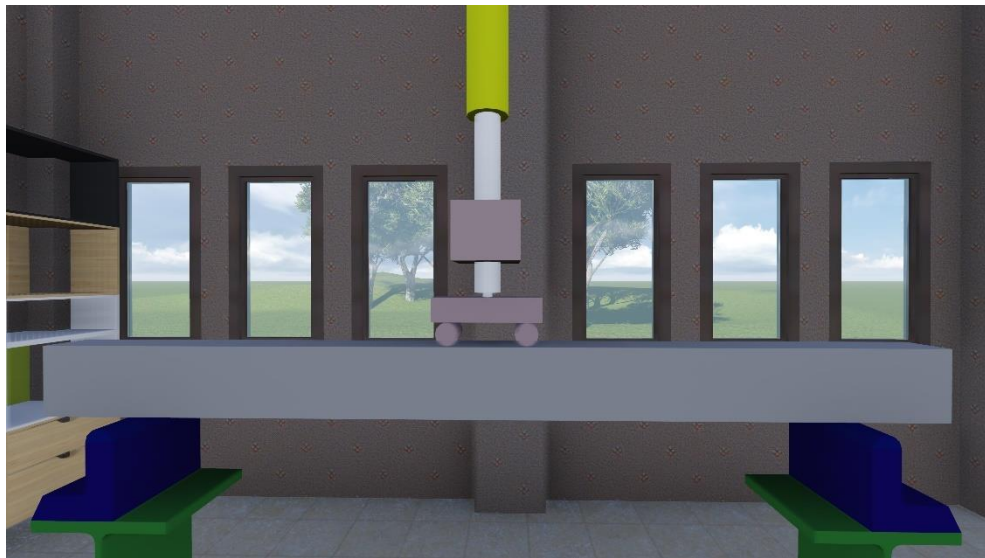
Kuat tekan beton adalah besarnya beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji hingga hancur per satuan luas. Laporan dalam pengujian ini harus meliputi beberapa hal yakni kapasitas beban maksimum (N), luas penampang (mm^2) dan kuat tekan beton (N/mm^2).

b. Pengujian Kuat Lentur Balok

Dalam pengujian kuat lentur dalam penelitian ini bertujuan untuk melihat hasil dari perilaku lentur dan geser pada balok bertulangan bambu. Alat yang akan digunakan adalah alat uji tekan lentur dengan ketelitian 0,5 kN yang ada pada Laboratorium Rekayasa Struktur, Universitas Negeri Malang.



Gambar 3. 19 Skema pengujian balok lentur menggunakan Loading frame



Gambar 3. 20 Rencana Pembebanan Pada Benda Uji Balok Lentur

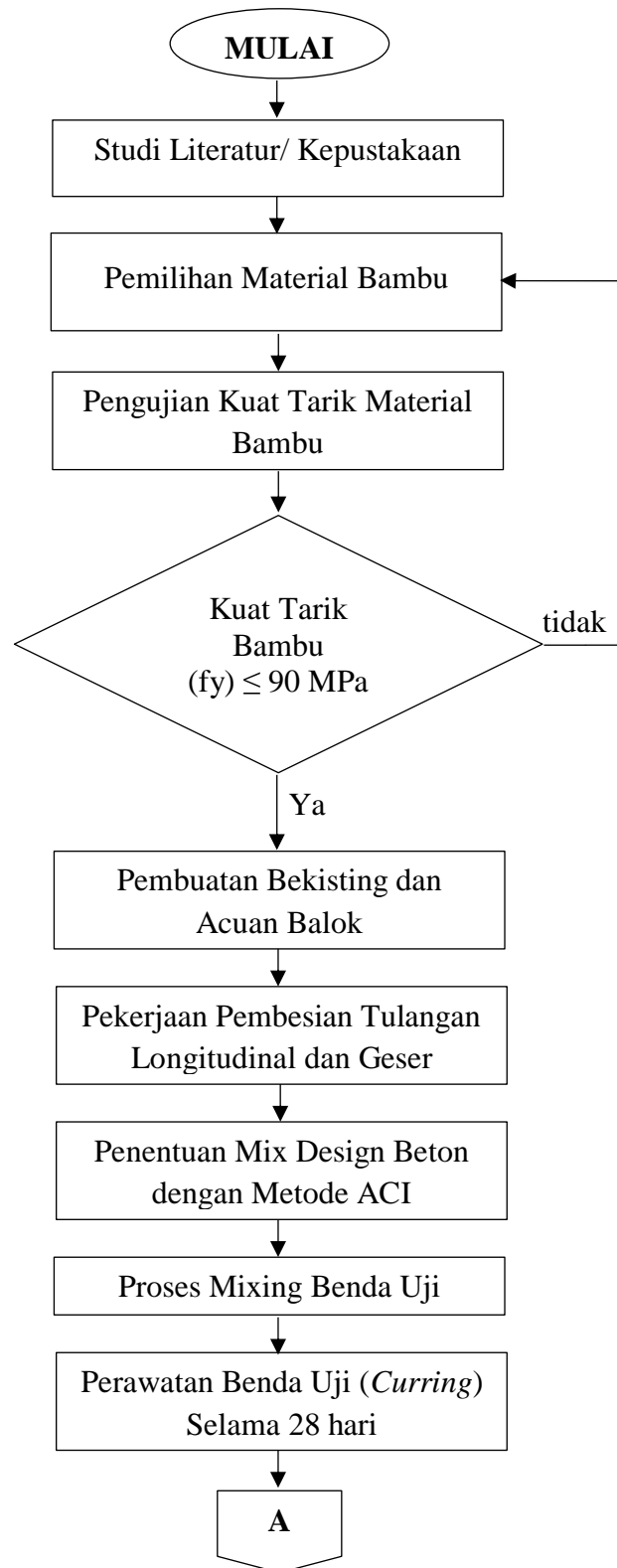


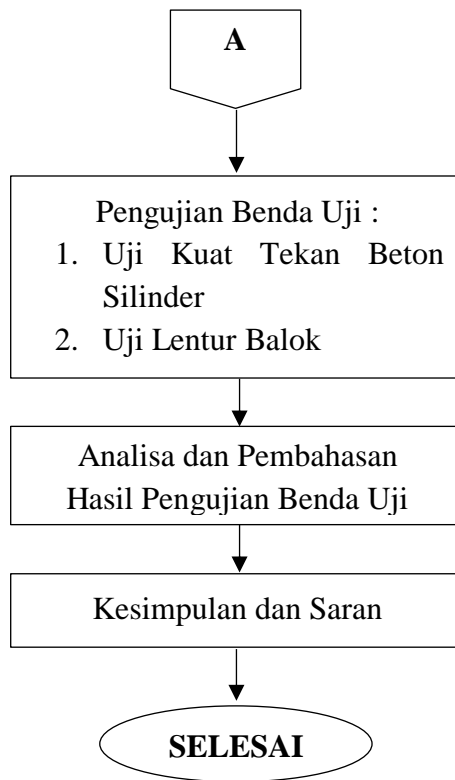
Gambar 3. 21 Rencana Setting Benda Uji Pada Loading Frame

Berikut adalah tahapan dalam pengujian kuat lentur balok :

- a. Mengambil benda uji dari tempat perawatan setelah berumur 28 hari.
- b. Meletakkan benda uji pada *Loading Frame* lentur secara sentris.
- c. Memasang dial gauge di posisi $1/3 L$ dan $1/2 L$ bentang balok.
- d. Memberikan beban pengujian uji lentur dari alat pompa *hidroulic* bertahap sebesar 0,5 kN pada benda uji.
- e. Mencatat penurunan tiap pembebanan serta regangan yang terjadi pada tulangan di pembacaan alat *data logger*.
- f. Mernggambar pola retak yang terjadi pada balok.
- g. Pembebanan dilakukan sampai benda uji patah/ runtuh dan mencatat beban maksimum yang terjadi.
- h. Melakukan langkah-langkah di atas sesuai dengan jumlah benda uji yang akan diperiksa.
- i. Analisa data beban lentur

3.7 Bagan Alir (*Flow Chart*) Pelaksanaan Penelitian





BAB IV

PERSIAPAN, PELAKSANAAN DAN HASIL PENELITIAN

4.1 Persiapan Penelitian

4.1.1 Pemilihan Tulangan Bambu

Bambu merupakan material atau bahan utama sebagai tulangan longitudinal pada beton. Hal ini merupakan sebuah solusi alternatif dari penggunaan material baja sebagai tulangan longitudinal pada konstruksi balok lentur sederhana.

Sebagai material alam yang digunakan pada konstruksi maka perlu dilakukan pemilihan dan juga perawatan yang tepat. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan karakteristik mekanis dari bambu itu sendiri dapat disesuaikan dengan perencanaan.

Dalam pemilihan jenis bambu yang digunakan, penulis menggunakan bambu jenis petung (*Dendracalamus Asper*). Pemilihan bambu jenis petung didasarkan atas beberapa penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa tegangan tarik bambu tersebut lebih besar daripada bambu jenis lainnya. Selain itu juga ketersediaan dari bambu jenis petung di Indonesia khususnya di daerah Malang masih cukup berlimpah.

Bambu petung (*Dendracalamus Asper*) yang digunakan adalah telah berumur diatas 3 (tiga) tahun. Pada umur bambu tersebut telah memiliki kapasitas yang baik dari segi mekanisnya. Selain itu material bambu petung digunakan adalah bambu yang telah memiliki bagian lapis dalam dan luar yang telah mengering, hal

ini agar bambu yang digunakan telah memiliki kadar air yang rendah sehingga menghindari adanya kembang susut yang besar.

Selain meninjau dan memilih dari segi umur dan juga fisis bambu yang digunakan, maka yang paling penting adalah dapat mengetahui kapasitas mekanis dari bambu tersebut. Salah satu kapasitas mekanis dari bambu yang perlu untuk ditinjau adalah kapasitas tarik yang digunakan ditinjau dari keadaan kekuatan tarik leleh hingga keadaan kekuatan tarik putus. Hasil dari pengujian ini nantinya dapat digunakan sebagai data perencanaan dalam menganalisa momen kapasitas dari balok lentur yang akan diteliti.



Gambar 4. 1 Rumpun pohon bambu petung yang telah berumur ± 3 tahun



Gambar 4. 2 Pemilihan bambu petung yang telah berumur ± 3 tahun dan diangin - anginkan

4.1.2 Persiapan Pengujian Tarik Bambu

Dalam perencanaan tulangan bambu, perlu untuk diperiksa tegangan tarik bambu hal ini bertujuan untuk mengetahui kualitas tulangan bambu yang terpasang dalam benda uji balok lentur.

Sebelum dilakukan pengujian tarik pada material bambu maka diperlukannya proses pembubutan pada areal penampang tengah spesimen (*gauge length*). Proses dalam pembubutan dilakukan pada laboratorium/ bengkel Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Malang. Tujuan dari pembubutan ini adalah untuk menumpukan dan memusatkan kegagalan dari specimen/ putus pada titik didaerah tengah specimen (*gauge length*). Bentuk pembubutan yang dilakukan adalah mengurangi diameter nominal specimen pada daerah tengah (*gauge length*) berkisar antara 7 – 8 mm.

Selanjutnya berkaitan Pengujian mekanis dari material bambu yang akan digunakan adalah dengan cara pengujian kuat tarik material bambu. Dalam pemeriksaan ini menyerupai dengan uji tarik yang dilakukan pada material baja atau yang sesuai dengan ASTM (*American Society of Testing and Materials*) C370 – 94. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Struktur, Universitas Negeri Malang Institut Teknologi Nasional Malang dengan menggunakan alat pengujian berupa alat UTM (*Universal Testing Machine*).

Adapun langkah – langkah dalam pengujian kuat tarik material bambu menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*) adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan specimen yang telah melalui proses pembubutan.
2. Memasang ekstensometer sebagai alat pembacaan regangan pada daerah *Gauge Length*.
3. Membuka pencapit alat mesin UTM (*Universal Testing Machine*) pada sisi atas dan bawah.
4. Meletakkan specimen tepat ditengah (simetris) pada daerah capitan.

5. Menset-up nilai pembacaan digital yang telah terhubung pada komputer.
6. Mengontrol laju grafik yang muncul pada pengujian yang dilakukan, untuk mengontrol terjadinya slip antara specimen dengan capitan.
7. Mensimpan hasil pengujian yang kemudian dikelola data tersebut kedalam grafik.
8. Mengetahui kapasitas tarik leleh material bambu dan juga kapasitas putus tersebut.

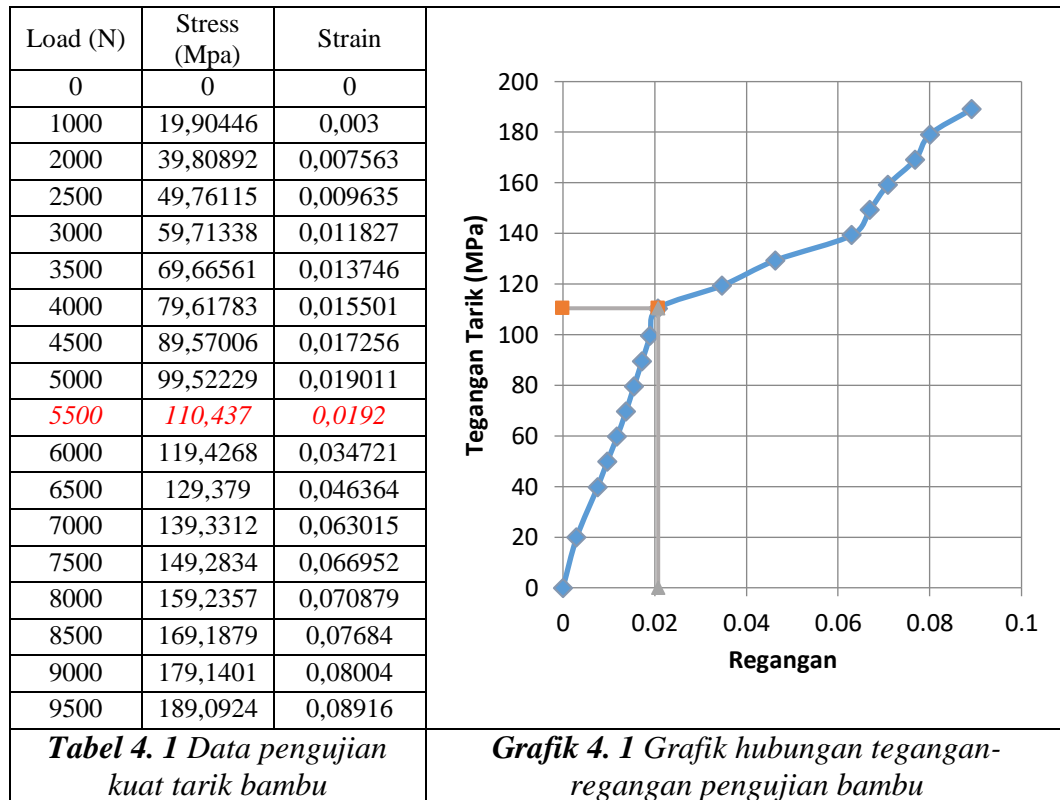


Gambar 4. 3 Benda uji setelah dilakukan pembubutan daerah specimen



Gambar 4. 4 Pengujian tarik benda uji dengan alat Universal Testing Machine

Berikut hasil pengujian kuat tarik bambu benda uji yang akan disajikan dalam tabel 4.1 dan grafik 4.1 berikut:



Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Setelah melakukan uji tarik untuk tulangan bambu dengan diameter nominal 10 mm serta jumlah benda uji sebanyak 3 batang, maka hasilnya dirata – rata dan ditampilkan pada tabel 4.1 Nilai tegangan leleh pada bilah bambu strip (tulangan bambu) adalah **110 N/mm²**. Sehingga dapat diketahui nilai modulus elastisitas dari material tulangan bamboo adalah ($E_s = f_y \times \epsilon_s$) 5729,17 MPa.



4.1.3 Persiapan Rangkaian Tulangan Bambu

A. Pembentukan Tulangan Bambu

Setelah memilih jenis bambu maka langkah selanjutnya adalah membentuk bambu sesuai dengan ukuran dan panjang yang telah direncanakan. Disini penulis menggunakan tulangan bambu diameter ekuivalen 10 mm. Pada kelompok pengujian pertama panjang tulangan yang digunakan yaitu 150 cm tanpa sambungan. Kemudian pada kelompok pengujian yang kedua panjang tulangan yang digunakan tetap 150 cm akan tetapi terdapat bentuk sambungan lewatan, ls (*length slip*) sesuai yang telah direncanakan diawal.

B. Pelapisan Permukaan Tulangan Bambu

Setelah bambu diserut mendekati bentuk dari tulangan baja polos, maka proses selanjutnya yaitu melakukan pengecatan menggunakan lem kayu epoxy (resin dan hardener) pada seluruh permukaan dari tulangan kemudian dikeringkan pada suhu normal selama 24 jam agar lem dapat mengering dan dapat menutupi seluruh pori-pori permukaan serat bambu.

	
<p>Gambar 4. 5 Lem kayu epoxy (resin dan hardener) yang digunakan</p>	<p>Gambar 4. 6 Proses pengecatan lem kayu epoxy (resin dan hardener)</p>

C. Perlakuan Lilitan Permukaan Tulangan Bambu

Bambu yang telah melewati proses pengecatan menggunakan lem selama 24 jam, proses berikutnya yaitu melakukan lilitan kawat pada bambu dengan ukuran diameter kawat yaitu 1,2 mm dengan jarak spasi as bersih ke as bersih adalah 3 mm.

	
<p>Gambar 4. 7 Proses pelilitan kawat pada permukaan tulangan bambu</p>	<p>Gambar 4. 8 Hasil lilitan kawat pada permukaan tulangan bambu</p>

D. Pembentukan Tulangan Sengkang

Tulangan sengkang yang digunakan pada penelitian ini adalah baja putih dengan diameter 3 mm. Sengkang yang digunakan model tertutup dengan sudut pembelokan sebesar 90 derajat.



Gambar 4. 9 Pemotongan kawat aluminium diameter 4 mm sebagai tulangan geser/ tulangan sengkang



Gambar 4. 10 Pemotongan kawat aluminium diameter 3 mm sebagai tulangan geser/ tulangan sengkang

E. Pemasangan Strain Gauge

Selanjutnya adalah proses pemasangan strain gauge yang digunakan sebagai alat untuk mengetahui keadaan regangan tulangan dari balok ketika dikenai beban. Strain gauge dipasang pada beberapa posisi di tulangan bambu untuk mengetahui perbedaan regangan dari tulangan bambu yang diteliti.



Gambar 4. 11 Pemasangan Strain Gauge pada permukaan tulangan bambu

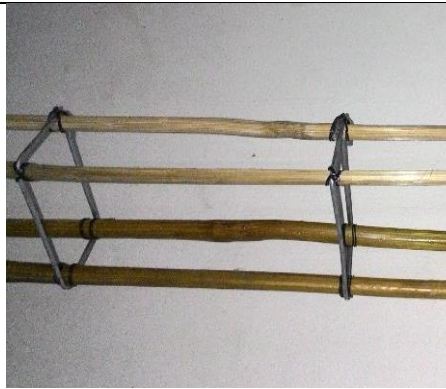


Gambar 4. 12 Strain gauge yang telah terpasang pada permukaan tulangan bambu

F. Perangkaian Tulangan Bambu

Tulangan longitudinal bambu kemudian dirangkai beserta tulangan sengkang menjadi suatu kesatuan membentuk elemen balok lentur sesuai dengan data perencanaan yang telah ditetapkan di awal. Pengikatan antara tulangan longitudinal bambu dan transversal dari sengkang menggunakan kawat bendrat sebagai pengikatnya.

Jarak antar tulangan transversal yang digunakan pada kelompok pengujian ini adalah sebesar 20 cm. Antara tulangan sengkang yang digunakan pada penelitian ini adalah baja putih dengan diameter 4 mm. Sengkang yang digunakan model tertutup dengan sudut pembelokan sebesar 90 derajat.



Gambar 4. 13 Perangkaian tulangan bambu kelompok pengujian pertama



Gambar 4. 14 Perangkaian tulangan bambu kelompok pengujian kedua

4.1.4 Persiapan Pembuatan Begisting dan Acuan Benda Uji

Sebelum pelaksanaan percobaan diperlukan persiapan pada begisting atau cetakan dari benda uji yang akan digunakan. Benda uji yang digunakan terbagi kedalam dua jenis yaitu sebagai berikut :

- a. Begisting jenis pertama adalah berbentuk balok persegi panjang dengan dimensi bersih sebesar 80 mm x 120 mm x 1500 mm. Bahan dari begisting ini adalah dari multiplek polywood dengan tebal 9mm dan diperkuat dengan sambungan paku di beberapa sisinya. Begisting ini digunakan sebagai acuan cetakan daripada benda uji dengan pengujian kuat lentur balok.
- b. Begisting jenis kedua adalah berbentuk silinder dengan dimensi bersih sebesar 150 mm x 300 mm. Begisting ini digunakan sebagai acuan cetakan daripada benda uji dengan pengujian kuat tekan beton.



Gambar 4. 15 Begisting jenis 1



Gambar 4. 16 Begisting jenis 2

4.1.5 Perhitungan Mix Design

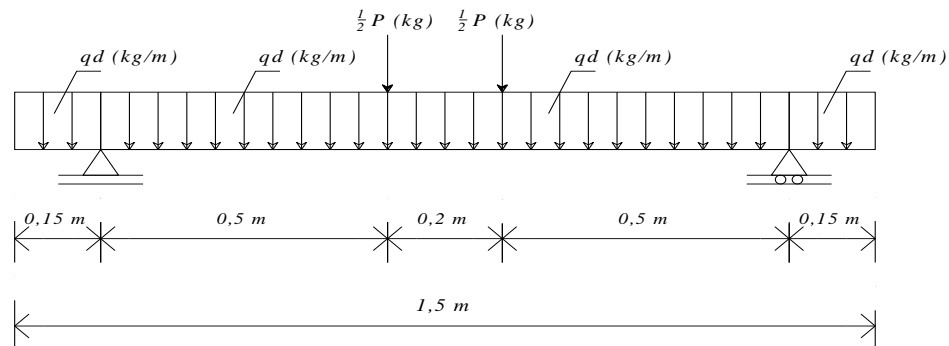
Dalam perencanaan komposisi material penyusun didalam beton menggunakan metode ACI. Mutu rencana atau kuat tekan rencana yang digunakan yaitu sebesar $f_c' = 20$ MPa. Adapun komposisi akhir rencana dari mix design beton per m^3 adalah sebagai berikut:

- Semen : 413,46 kg
- Agregat Halus : 518,97 kg
- Agregat Kasar : 1182,569 kg
- Air : 215 kg

Komposisi tersebut disesuaikan pada faktor air semen, $f_{as} = 0,52$.

4.1.6 Analisa Balok

4.1.6.1 Perhitungan Momen Teoritis



Gambar 4. 17 Skema Pembebanan Pengujian

Data Perencanaan :

$$b = 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}$$

$$h = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m}$$

$$L = 150 \text{ cm} = 1,5 \text{ m}$$

$$\gamma_{\text{beton}} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} qd &= b \times h \times \gamma_{\text{beton}} \\ &= 0,08 \times 0,12 \times 2400 \\ &= 23,04 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\sum \mathbf{MB} = 0$$

$$\begin{aligned} Rva \times 1,2 - [qd \times 1,35 \times \{1/2 \times 1,35\}] + [qd \times 0,15 \times \{1/2 \times 0,15\}] - [1/2 P \times 0,7] \\ - [1/2 P \times 0,5] = 0 \end{aligned}$$

$$Rva \times 1,2 = [1/2 \times 23,04 \times 1,35^2] - [1/2 \times 23,04 \times 0,15^2] + [0,35 P] + [0,25 P]$$

$$Rva \times 1,2 = [20,995] - [0,259] + [0,6 P]$$

$$Rva = [0,6 P + 20,995 - 0,259] / 1,2$$

$$Rva = 0,5 P + 17,28$$

$$\sum MA = 0$$

$$-R_{vb} \times 1,2 + [q_d \times 1,35 \times \{1/2 \times 1,35\}] - [q_d \times 0,15 \times \{1/2 \times 0,15\}] + [1/2 P \times 0,7] + [1/2 P \times 0,5] = 0$$

$$R_{vb} \times 1,2 = [1/2 \times 23,04 \times 1,35^2] - [1/2 \times 23,04 \times 0,15^2] + [0,35 P] + [0,25 P]$$

$$R_{vb} \times 1,2 = [20,995] - [0,259] + [0,6 P]$$

$$R_{vb} = [0,6 P + 20,995 - 0,259] / 1,2$$

$$R_{vb} = (0,5 P + 17,28) \text{ kg}$$

$$M_{\max} = R_{va} \times 0,6 - [1/2 \times 23,04 \times 0,75^2] - [1/2 P \times 0,1]$$

$$= [(0,5 P + 17,28) \times 0,6] - [6,48] - [0,05 P]$$

$$= 0,3 P + 10,368 - 6,48 - 0,05 P$$

$$= (0,25 P + 3,88) \text{ kg.m}$$

$$= (0,25 P + 38,8) \text{ N.m}$$

4.1.6.2 Perhitungan Momen Kapasitas Balok

1) Data Perencanaan :

$$f_c' = 20 \text{ MPa (dari hasil pengujian kuat tekan beton)}$$

$$f_y \text{ bambu} = 110 \text{ MPa (dari hasil pengujian kuat tekan beton)}$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal } (\varnothing) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan geser} = 3 \text{ mm}$$

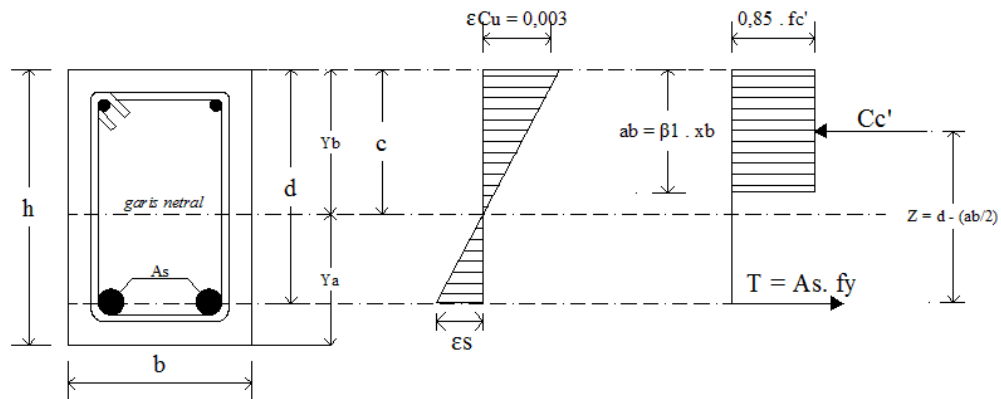
$$\text{Selimut beton} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar balok, } b = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok, } h = 120 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi efektif balok, } d = 120 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 3 \text{ mm} - 5 \text{ mm}$$

$$= 102 \text{ mm}$$



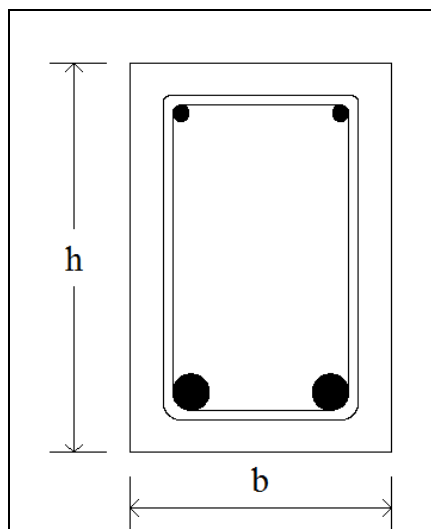
Gambar 4. 18 Tegangan dan regangan balok bertulangan tunggal

2) Analisa Perhitungan :

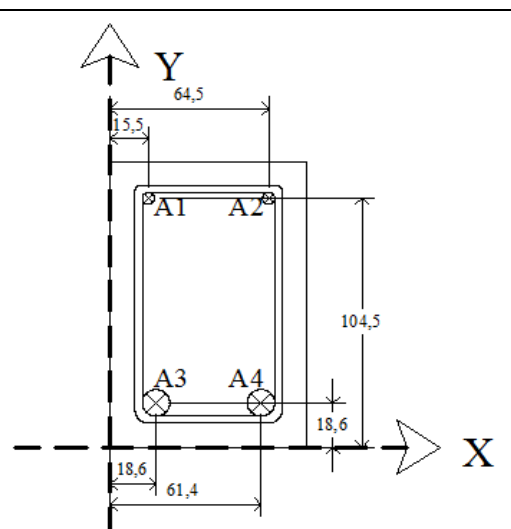
- a) Luas tulangan yang dipakai

$$\begin{aligned}
 \text{As pakai} &= 2\text{D}10 \\
 &= \left[\frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \right] \times 2 \\
 &= 78,5 \times 2 \\
 &= 157 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- b) Menghitung garis netral pada penampang balok



Gambar 4. 19 Penampang Balok



Gambar 4. 20 Penomoran dan Jarak Tulangan ke Garis Sumbu

Tabel 4. 2 Perhitungan mencari garis netral pada penampang balok

No. Tulangan	Luas Tulangan (mm ²)	Jarak Titik Berat Terhadap Sb.		Momen Statis	
		X (mm)	Y (mm)	Sb. X (mm ³)	Sb. Y (mm ³)
A1	19.63	104.50	15.50	2050.81	304.19
A2	19.63	104.50	64.50	2050.81	1265.81
A3	78.50	18.60	18.60	1460.10	1460.10
A4	78.50	18.60	61.40	1460.10	4819.90
<i>Total</i>	<i>196.25</i>	<i>-</i>		<i>7021.83</i>	<i>7850.00</i>

Dari table diatas maka selanjutnya adalah menentukan garis netral pada penampang adalah sebagai berikut :

✚ Terhadap sumbu X

$$\begin{aligned}
 Y_a &= (A1.X1 + A2.X2 + A3.X3 + A4.X4) / (A1+A2+A3+ A4) \\
 &= (7021,83 / 196,25) \\
 &= 35, 78 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_b &= h - Y_a \\
 &= 120 - 35,78 \\
 &= 84,22 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

✚ Terhadap sumbu Y

$$\begin{aligned}
 X_a &= (A1.Y1 + A2.Y2 + A3.Y3 + A4.Y4) / (A1+A2+A3+ A4) \\
 &= (7850 / 196,25) \\
 &= 40 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_b &= h - Y_a \\
 &= 80 - 40 \\
 &= 40 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

c) Rasio tulangan yang dipakai

$$\begin{aligned}\rho_{\text{pakai}} &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= \frac{157}{80 \times 102} \\ &= 0,0192\end{aligned}$$

d) Momen nominal (M_n) yang dapat ditahan

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \text{ pakai} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{157 \times 110}{0,85 \times 20 \times 80} \\ &= 12,7 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berlaku momen kopel ;

$$M = T. z \quad \text{atau} \quad M = C. z$$

$$\begin{aligned}M_n &= A_s. F_y \left[d - \frac{a}{2} \right] \\ &= 157 \times 100 \times \left[102 - \frac{12,71}{2} \right] \\ &= 17270 \times 95,65 \\ &= 1651888 \text{ N.mm} \\ &= 1651,888 \text{ N.m} \\ &= 165,1888 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

e) P (beban pengujian) maksimum teoritis

$$M_{\text{max}} = M_n$$

$$165,1888 \text{ kg.m} = 0,25 P + 3,88 \text{ kg.m}$$

$$\begin{aligned}P &= 645,553 \text{ kg} \\ &= 6455,53 \text{ N} = 6,45553 \text{ kN}\end{aligned}$$

4.2 Pelaksanaan Penelitian

4.2.1 Prosedur Pelaksanaan Pencampuran (*mixing*)

Prosedur pelaksanaan pencampuran, setelah ditetapkan unsur-unsur campuran sebagai berikut:

1. Mempersiapkan bahan campuran sesuai dengan rencana komposisi dari mix design pada wadah/ talam yang terpisah.
2. Mempersiapkan wadah/ talam yang diperkirakan cukup untuk menampung volume beton segar dari hasil mixing.
3. Memasukkan semen, agregat kasar dan agregat halus ke dalam mesin pengaduk dengan menggunakan alat sekop atau cetok.
4. Melakukan proses pencampuran didalam mesin pengaduk hingga material tercampur merata.
5. Memasukkan air sedikit demi sedikit ke dalam mesin pengaduk hingga terlihat konsistensi adukan yang merata.
6. Memeriksa nilai kelecakan dari adukan beton segar dengan cara pemeriksaan nilai slump dengan menggunakan kerucut abrams.
7. Apabila nilai slump sudah mencapai nilai slump rencana, maka beton segar telah dapat digunakan untuk proses pencetakan
8. Mempersiapkan dan mencetak beton segar kedalam begisting atau cetakan untuk satu jenis perlakuan pada kelompok pengujian. Adapun banyak benda uji pada satu kali pengecoran adalah sebanyak 3 buah silinder dan 3 buah balok persegi panjang sesuai dengan petunjuk jumlah benda uji sebelumnya.

4.2.2 Pengujian Slump Beton

Untuk mengetahui kelecakan dari beton segar adalah dengan cara pengujian nilai slump. Adapun tahapan yang dilakukan dalam pengujian slump adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat pengujian slump berupa kerucut abrams dan juga tongkat pemadat.
2. Mempersiapkan beton segar kedalam wadah atau talam.
3. Membasahi permukaan bagian dalam dari kerucut abrams.
4. Meletakkan kerucut abrams pada areal bidang yang datar.
5. Mengisi $\frac{1}{3}$ dari tinggi kerucut abrams dengan beton segar, kemudian dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali dengan cara dilepas hingga menyentuh lapisan bawah.
6. Melakukan poin ke 5 hingga lapisan terakhir.
7. Meratakan permukaan atas dari kerucut abrams dengan cara menggulirkan tongkat pemadat.
8. Menunggu sekitar 20 – 30 menit dengan kondisi kerucut abrams yang telah terisi beton segar tidak mendapatkan hentakan ataupun goyangan.
9. Cetakan abrams kemudian diangkat perlahan – lahan secara tegak lurus keatas lalu meletakkannya disamping benda uji beton segar yang telah tercetak.
10. Mengukur nilai slump dari beton segar dengan menggunakan perbedaan tinggi

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan didapatkan nilai slump sesuai rencana yaitu berkisar diantara 8 – 10 cm. nilai slump selalu erat kaitannya dengan kebutuhan air terpasang dan juga kadar air dari material penyusun beton lainnya.

4.3 Data Hasil Pengujian Penelitian

4.3.1 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada saat benda uji beton telah mencapai umur 28 hari dan juga telah dilaksanakan perawatan dengan metode perendaman (*curing*). Hasil dari pengujian kuat tekan beton ini didapatkan dari hasil pengujian menggunakan alat uji tekan (*compression testing machine*) yang ada pada Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi di Institut Teknologi Nasional Malang. Data hasil pengujian kuat tekan beton ini kemudian digunakan sebagai nilai perhitungan dari momen kapasitas balok lentur yang diuji.

Adapun hasil dari pengujiannya adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 3 Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Kelompok Pengujian	Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Berat (Kg)	Tekanan hancur (N)	fc' (N/mm ²)	fc' rerata (N/mm ²)
A	Polos	1	12.14	378000	21.401	21.099
		2	12.28	365000	20.665	
		3	12.37	375000	21.231	
	Full	4	12.43	383000	21.684	21.194
		5	12.35	369000	20.892	
		6	12.44	371000	21.005	
	U - T - U	7	12.51	384000	21.741	21.854
		8	12.45	395000	22.364	
		9	12.35	379000	21.458	

	U - U	10	12.12	381000	21.571	21.798
		11	12.98	385000	21.798	
		12	11.56	389000	22.024	
	Ls 1	13	11.75	371000	21.005	21.345
		14	12.45	375000	21.231	
		15	12.02	385000	21.798	
	Ls 2	16	12.08	364000	20.609	21.458
		17	12.34	391000	22.137	
		18	12.23	382000	21.628	
	Ls 3	19	12.11	375000	21.231	21.571
		20	12.34	389000	22.024	
		21	12.5	379000	21.458	
<i>Rerata</i>			<i>12.276</i>	<i>379286</i>	<i>21.474</i>	<i>21.474</i>

Keterangan :

- Tegangan hancur (f'_c) $= \frac{P}{A \times F_u}$
- P = Beban axial tekan maksimal (N)
- A = Luas penampang benda uji (mm^2)
- F_u = Faktor umur beton (untuk 28 hari = 1,00)
- Diameter Penampang = 150 mm

4.3.2 Kelompok Pengujian Ke-1

Pada tahapan ini dilakukan pengujian benda uji dengan memperkirakan kapasitas lentur dari beban yang dapat ditahan oleh balok, regangan dari tulangan yang terbaca oleh *strain gauge* pada alat *data logger* dan juga lendutan yang terjadi pada balok beton bertulangan bambu dengan perlakuan pada letak pengasaran permukaan. Adapun hasil pengamatan benda uji adalah sebagai berikut :

4.3.2.1 Tanpa Lilitan/ Polos

a. Benda Uji ke – 1

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 21,401 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,14 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \end{aligned}$$

$$= 2291,106 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Momen retak pengujian} = 411,3 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen maksimum pengujian} = 1386,3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2291,106)^{1,5} 0,0043(\sqrt{21,401}) \\ &= 21815 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulis rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 21815 \\ &= 0,26262 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 621,755 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 4 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu tanpa lilitan/ polos benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	0	0,00
290	38,8	0,07
590	111,3	0,12
790	186,3	0,16
1090	236,3	0,24
1490	311,3	0,84
2190	411,3	2,32
2590	586,3	3,52
3090	686,3	4,92
3590	811,3	6,72
3890	936,3	8,66
4590	1011,3	10,82
4890	1186,3	12,28
5090	1261,3	13,64
5390	1311,3	14,60
5590	1386,3	15,02

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 5 Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu tanpa lilitan/ polos benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	0	11520000	11520000	11520000	0,00
290	38,8	11520000	11520000	11520000	0,08
590	111,3	11520000	11520000	11520000	0,16
790	186,3	11520000	11520000	11520000	0,22
1090	236,3	11520000	11520000	11520000	0,30
1490	311,3	11520000	11520000	11520000	0,41

2190	411,3	11520000	11520000	11520000	0,60
2590	586,3	11520000	11520000	11520000	0,71
2840	621,8	11520000	11520000	11520000	0,78
3090	686,3	11520000	375603,7	8662116	1,13
3590	811,3	11520000	375603,7	5391740	2,11
3890	936,3	11520000	375603,7	3638992	3,39
4590	1011,3	11520000	375603,7	2965449	4,91
4890	1186,3	11520000	375603,7	1980069	7,83
5090	1261,3	11520000	375603,7	1710534	9,43
5390	1311,3	11520000	375603,7	1563580	10,93
5590	1386,3	11520000	375603,7	1381011	12,83

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 6 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu polos benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	0	0,0000000	0,000
290	38,8	0,0011080	6,348
590	111,3	0,0011780	6,749
790	186,3	0,0013460	7,711
1090	236,3	0,0013780	7,895
1490	311,3	0,0015770	9,035
2190	411,3	0,0040630	23,278
2590	586,3	0,0055730	31,929
3090	686,3	0,0077930	44,647
3590	811,3	0,0108810	62,339
3890	936,3	0,0139130	79,710
4590	1011,3	0,0159040	91,117
4890	1186,3	0,0166750	95,534
5090	1261,3	0,0170530	97,699
5390	1311,3	0,0173310	99,292
5590	1386,3	0,0174530	99,991

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

b. Benda Uji ke – 2

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 20.67 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,28 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0.15^2 \times 0.3} \\ &= 2317.53 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak pengujian} = 436.3 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen maksimum pengujian} = 1561.3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1.5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2317,53)^{1.5} 0,0043(\sqrt{20,67}) \\ &= 21808.5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulis rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 21808,5 \\ &= 0,2627 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 610,97 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 7 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu polos benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	0	0,00
490	38,8	0,04
790	161,3	0,10
1000	236,3	0,21
1590	288,8	1,14
2090	436,3	1,59
2590	561,3	2,85
3090	686,3	3,71
3590	811,3	5,09
3890	936,3	6,22
4590	1011,3	7,81
4890	1186,3	9,62
5590	1261,3	11,57
6090	1436,3	12,90
5790	1561,3	14,38
5390	1486,3	15,32

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 8 Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu polos benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	0,00	11520000	11520000	11520000	0,00
490	38,80	11520000	11520000	11520000	0,13
790	161,30	11520000	11520000	11520000	0,22
1000	236,30	11520000	11520000	11520000	0,28
1590	288,80	11520000	11520000	11520000	0,44
2090	436,30	11520000	11520000	11520000	0,58
2590	561,30	11520000	11520000	11520000	0,71
2840	610,97	11520000	11520000	11520000	0,78
3090	686,30	11520000	375708,7	8238365	1,19

3590	811,30	11520000	375708,7	5135269	2,22
3890	936,30	11520000	375708,7	3472174	3,55
4590	1011,30	11520000	375708,7	2833083	5,14
4890	1186,30	11520000	375708,7	1898105	8,17
5590	1261,30	11520000	375708,7	1642357	10,79
6090	1436,30	11520000	375708,7	1233489	15,66
5790	1561,30	11520000	375708,7	1043518	17,60
5390	1486,30	11520000	375708,7	1149799	14,87

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 9 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu polos benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	0	0,000000	0,000
490	38,8	0,000004	0,023
790	161,3	0,000362	2,074
1000	236,3	0,001867	10,696
1590	288,8	0,002677	15,337
2090	436,3	0,004700	26,927
2590	561,3	0,006052	34,673
3090	686,3	0,007941	45,495
3590	811,3	0,009266	53,086
3890	936,3	0,010856	62,196
4590	1011,3	0,012077	69,191
4890	1186,3	0,013756	78,810
5590	1261,3	0,014316	82,019
6090	1436,3	0,014485	82,987
5790	1561,3	0,014757	84,545
5390	1486,3	0,015495	88,773

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

c. Benda Uji ke – 3

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 21,23 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{21,23 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \\ &= 2334,51 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak pengujian} = 411,3 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen maksimum pengujian} = 1361,3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2334,51)^{1,5} 0,0043(\sqrt{21,23}) \\ &= 22348,7 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulus rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 22348,7 \\ &= 0,256 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 619,283 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 10 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu polos benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	0,0	0,00
490	38,8	0,04
1000	161,3	0,10
1490	288,8	0,21
2000	411,3	1,14
2490	538,8	1,59
3000	661,3	2,85
3490	788,8	3,71
4000	911,3	5,09
4490	1038,8	6,22
4950	1161,3	7,81
5290	1276,3	9,62
4090	1361,3	11,57

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 11 Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu polos benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	0,0	11520000	11520000	11520000	0,00
490	38,8	11520000	11520000	11520000	0,13
1000	161,3	11520000	11520000	11520000	0,27
1490	288,8	11520000	11520000	11520000	0,40
2000	411,3	11520000	11520000	11520000	0,54
2490	538,8	11520000	11520000	11520000	0,67
2745	619,3	11520000	11520000	11520000	0,74
3000	661,3	11520000	367215	9526345	0,97
3490	788,8	11520000	367215	5764173	1,87
4000	911,3	11520000	367215	3867196	3,20
4490	1038,8	11520000	367215	2730162	5,09
4950	1161,3	11520000	367215	2058499	7,44

5290	1276,3	11520000	367215	1641280	9,98
4090	1361,3	11520000	367215	1417212	8,93

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 12 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu polos benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	0,0	0,000000	0,000
490	38,8	0,000004	0,023
1000	161,3	0,000362	2,074
1490	288,8	0,001867	10,696
2000	411,3	0,002677	15,337
2490	538,8	0,004700	26,927
3000	661,3	0,006052	34,673
3490	788,8	0,007941	45,495
4000	911,3	0,009266	53,086
4490	1038,8	0,010856	62,196
4950	1161,3	0,012077	69,191
5290	1276,3	0,013756	78,810
4090	1361,3	0,014316	82,019

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

4.3.2.2 Lilitan Full

a. Benda Uji ke – 1

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 21,68 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,43 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \end{aligned}$$

$$= 2345,48 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Momen retak pengujian} = 1038,8 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen maksimum pengujian} = 3038,8 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2345,48)^{1,5} 0,0043(\sqrt{21,68}) \\ &= 22750,4 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulis rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 22750,4 \\ &= 0,251 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 625,853 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 13 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan full benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
500	163,8	0,000
1000	288,8	0,000
1500	413,8	0,000
2000	538,8	0,180
2500	663,8	0,325
3000	788,8	0,470
3500	913,8	0,692
4000	1038,8	0,830
4500	1163,8	1,845
5000	1288,8	2,860
5500	1413,8	3,495
6000	1538,8	4,130
6500	1663,8	5,070
7000	1788,8	6,010
7500	1913,8	6,775
8000	2038,8	7,540
8500	2163,8	8,065
9000	2288,8	8,590
9500	2413,8	9,285
10000	2538,8	9,980
10500	2663,8	11,090
11000	2788,8	12,200
11500	2913,8	12,725
12000	3038,8	13,250
10750	2726,3	13,500

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 14 Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan full benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
500	163,8	11520000	11520000	11520000	0,13
1000	288,8	11520000	11520000	11520000	0,26
1500	413,8	11520000	11520000	11520000	0,40
2000	538,8	11520000	11520000	11520000	0,53
2250	625,853	11520000	11520000	11520000	0,59
2500	663,8	11520000	361155	9713601	0,78
3000	788,8	11520000	361155	5934761	1,54
3500	913,8	11520000	361155	3946108	2,70
4000	1038,8	11520000	361155	2801443	4,34
4500	1163,8	11520000	361155	2096564	6,53
5000	1288,8	11520000	361155	1639006	9,27
5500	1413,8	11520000	361155	1329150	12,58
6000	1538,8	11520000	361155	1111897	16,41
6500	1663,8	11520000	361155	955083	20,69
7000	1788,8	11520000	361155	839071	25,36
7500	1913,8	11520000	361155	751409	30,35
8000	2038,8	11520000	361155	683940	35,56
8500	2163,8	11520000	361155	631169	40,94
9000	2288,8	11520000	361155	589301	46,43
9500	2413,8	11520000	361155	555661	51,98
10000	2538,8	11520000	361155	528322	57,55
10500	2663,8	11520000	361155	505876	63,10
11000	2788,8	11520000	361155	487275	68,63
11500	2913,8	11520000	361155	471730	74,12
12000	3038,8	11520000	361155	458638	79,55
10750	2726,3	11520000	361155	496149	65,87

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 15 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan full benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	38,8	0,000000	0,000
500	163,8	0,000065	0,372
1000	288,8	0,000069	0,395
1500	413,8	0,000106	0,607
2000	538,8	0,000139	0,796
2500	663,8	0,000201	1,152
3000	788,8	0,000277	1,587
3500	913,8	0,001214	6,955
4000	1038,8	0,001777	10,181
4500	1163,8	0,002495	14,294
5000	1288,8	0,003048	17,463
5500	1413,8	0,003765	21,570
6000	1538,8	0,004112	23,558
6500	1663,8	0,004566	26,159
7000	1788,8	0,005252	30,090
7500	1913,8	0,005916	33,894
8000	2038,8	0,006071	34,782
8500	2163,8	0,006830	39,130
9000	2288,8	0,007333	42,012
9500	2413,8	0,007860	45,031
10000	2538,8	0,008533	48,887
10500	2663,8	0,008700	49,844
11000	2788,8	0,010000	57,292
11500	2913,8	0,010640	60,958
12000,0	3038,8	0,011230	64,339
10750,0	2726,3	0,012060	69,094

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

b. Benda Uji ke – 2

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 20,89 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,35 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \\ &= 2330,74 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak pengujian} = 1538,8 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen maksimum pengujian} = 3111,3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2330,74)^{1,5} 0,0043(\sqrt{20,89}) \\ &= 22115,5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulus rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 22115,5 \\ &= 0,2304 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 614,308 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 16 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan full benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
500	163,8	0,000
1000	288,8	0,000
1500	413,8	0,150
2000	538,8	0,160
2500	663,8	0,170
3000	788,8	0,570
3500	913,8	1,830
4000	1038,8	3,010
4500	1163,8	4,040
5000	1288,8	5,720
5500	1413,8	6,450
6000	1538,8	7,610
6500	1663,8	8,450
7000	1788,8	9,100
7500	1913,8	9,750
8000	2038,8	10,335
8500	2163,8	10,920
9000	2288,8	11,380
9500	2413,8	11,840
10000	2538,8	12,460
10500	2663,8	13,080
11000	2788,8	13,585
11850	3001,3	13,670
12290	3111,3	13,920
11500	2913,8	14,200

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 17 Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan full benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
500	163,8	11520000	11520000	11520000	0,14
1000	288,8	11520000	11520000	11520000	0,27
1500	413,8	11520000	11520000	11520000	0,41
2000	538,8	11520000	11520000	11520000	0,54
2250	614,3	11520000	11520000	11520000	0,61
2500	663,8	11520000	370834	9207526	0,85
3000	788,8	11520000	370834	5637076	1,66
3500	913,8	11520000	370834	3758090	2,91
4000	1038,8	11520000	370834	2676549	4,67
4500	1163,8	11520000	370834	2010542	7,00
5000	1288,8	11520000	370834	1578217	9,91
5500	1413,8	11520000	370834	1285448	13,38
6000	1538,8	11520000	370834	1080175	17,37
6500	1663,8	11520000	370834	932009	21,81
7000	1788,8	11520000	370834	822395	26,62
7500	1913,8	11520000	370834	739567	31,72
8000	2038,8	11520000	370834	675819	37,02
8500	2163,8	11520000	370834	625958	42,47
9000	2288,8	11520000	370834	586399	48,00
9500	2413,8	11520000	370834	554614	53,57
10000	2538,8	11520000	370834	528783	59,15
10500	2663,8	11520000	370834	507575	64,70
11000	2788,8	11520000	370834	489999	70,21
11850	3001,3	11520000	370834	466438	79,46
12290	3111,3	11520000	370834	456652	84,17
11500	2913,8	11520000	370834	475312	75,67

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 18 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan full benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	38,8	0,000000	0,000
500	163,8	0,000050	0,286
1000	288,8	0,000065	0,372
1500	413,8	0,000108	0,619
2000	538,8	0,000173	0,991
2500	663,8	0,000256	1,467
3000	788,8	0,000409	2,343
3500	913,8	0,000792	4,538
4000	1038,8	0,001447	8,290
4500	1163,8	0,003273	18,752
5000	1288,8	0,004530	25,953
5500	1413,8	0,005806	33,264
6000	1538,8	0,006690	38,328
6500	1663,8	0,007660	43,885
7000	1788,8	0,008489	48,635
7500	1913,8	0,010233	58,627
8000	2038,8	0,010576	60,592
8500	2163,8	0,011488	65,817
9000	2288,8	0,013464	77,138
9500	2413,8	0,014517	83,170
10000	2538,8	0,015234	87,278
10500	2663,8	0,015270	87,484
11000	2788,8	0,015804	90,544
11850	3001,3	0,016200	92,813
12290,0	3111,3	0,017300	99,115
11500,0	2913,8	0,017400	99,688

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

c. Benda Uji ke – 3

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 21,005 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,44 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \\ &= 2347,72 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2347,72)^{1,5} 0,0043(\sqrt{21,005}) \\ &= 2418,15 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak} = 1161,3 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen Maksimum} = 3061,3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2347,72)^{1,5} 0,0043(\sqrt{20,005}) \\ &= 2418,15 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulus rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 2418,15 \\ &= 0,2556 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 615,971 \text{ N.m}$$

1) Momen – Lendutan

Tabel 4. 19 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan full benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
390	136,3	0,000
590	186,3	0,000
890	261,3	0,203
1190	336,3	0,045
1490	411,3	0,060
1990	536,3	0,200
2490	661,3	0,210
3190	836,3	1,030
3490	911,3	1,780
3990	1036,3	2,720
4490	1161,3	3,320
4990	1286,3	3,930
5490	1411,3	4,610
5990	1536,3	5,250
6590	1686,3	6,320
6990	1786,3	7,250
7590	1936,3	7,910
8090	2061,3	8,750
8590	2186,3	9,340
9090	2311,3	9,930
9590	2436,3	10,490
10190	2586,3	10,920
10690	2711,3	11,390
11090	2811,3	11,740
11590	2936,3	11,980
12090	3061,3	12,570
7690	1961,3	12,670

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 20 Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan full benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
390	136,3	11520000	11520000	11520000	0,10
590	186,3	11520000	11520000	11520000	0,16
890	261,3	11520000	11520000	11520000	0,24
1190	336,3	11520000	11520000	11520000	0,32
1490	411,3	11520000	11520000	11520000	0,40
1990	536,3	11520000	11520000	11520000	0,53
2240	615,971	11520000	11520000	11520000	0,60
2490	661,3	11520000	366151,4	9379986	0,82
3190	836,3	11520000	366151,4	4822907	2,04
3490	911,3	11520000	366151,4	3810611	2,83
3990	1036,3	11520000	366151,4	2708485	4,55
4490	1161,3	11520000	366151,4	2030606	6,82
4990	1286,3	11520000	366151,4	1590989	9,68
5490	1411,3	11520000	366151,4	1293509	13,10
5990	1536,3	11520000	366151,4	1085066	17,03
6590	1686,3	11520000	366151,4	909778	22,35
6990	1786,3	11520000	366151,4	823494	26,19
7590	1936,3	11520000	366151,4	725228	32,29
8090	2061,3	11520000	366151,4	663785	37,60
8590	2186,3	11520000	366151,4	615597	43,05
9090	2311,3	11520000	366151,4	577275	48,58
9590	2436,3	11520000	366151,4	546417	54,15
10190	2586,3	11520000	366151,4	516836	60,83
10690	2711,3	11520000	366151,4	496941	66,37
11090	2811,3	11520000	366151,4	483474	70,77
11590	2936,3	11520000	366151,4	469120	76,23
12090	3061,3	11520000	366151,4	457014	81,62
7690	1961,3	11520000	366151,4	711671	33,34

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

2) Tegangan – Regangan

Tabel 4. 21 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan full benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm²)
0	38,8	0,000000	0,000
390	136,3	0,000016	0,092
590	186,3	0,000065	0,372
890	261,3	0,000069	0,395
1190	336,3	0,000106	0,607
1490	411,3	0,000139	0,796
1990	536,3	0,000201	1,152
2490	661,3	0,000277	1,587
3190	836,3	0,001214	6,955
3490	911,3	0,001777	10,181
3990	1036,3	0,002495	14,294
4490	1161,3	0,003048	17,463
4990	1286,3	0,003765	21,570
5490	1411,3	0,004112	23,558
5990	1536,3	0,004566	26,159
6590	1686,3	0,005252	30,090
6990	1786,3	0,005916	33,894
7590	1936,3	0,006071	34,782
8090	2061,3	0,006830	39,130
8590	2186,3	0,007333	42,012
9090	2311,3	0,007860	45,031
9590	2436,3	0,008533	48,887
10190	2586,3	0,008700	49,844
10690	2711,3	0,010000	57,292
11090,0	2811,3	0,010640	60,958
11590,0	2936,3	0,011230	64,339
12090,0	3061,3	0,012060	69,094
7690	1961,3	0,012320	70,583

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

4.3.2.3 Lilitan Daerah Ujung – Tengah – Ujung

a. Benda Uji ke – 1

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 21,741 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,51 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \end{aligned}$$

$$= 2360,93 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Momen retak pengujian} = 1163,8 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen maksimum pengujian} = 2538,8 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2360,93)^{1,5} 0,0043(\sqrt{21,741}) \\ &= 23000,2 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulis rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 23000,2 \\ &= 0,249 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 626,67 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 22 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah – ujung benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
500	163,8	0,000
1000	288,8	0,000
1500	413,8	0,000
2000	538,8	0,990
2500	663,8	1,210
3000	788,8	1,240
3500	913,8	1,430
4000	1038,8	2,190
4500	1163,8	2,570
5000	1288,8	2,960
5500	1413,8	3,970
6000	1538,8	5,050
6500	1663,8	5,420
7000	1788,8	6,170
7500	1913,8	6,950
8000	2038,8	7,630
8500	2163,8	7,990
9000	2288,8	8,780
9500	2413,8	9,480
10000	2538,8	10,110
8490	2161,3	10,120

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 23 Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah – ujung benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
500	163,8	11520000	11520000	11520000	0,13
1000	288,8	11520000	11520000	11520000	0,26
1500	413,8	11520000	11520000	11520000	0,39
2000	538,8	11520000	11520000	11520000	0,52
2250	626,670	11520000	11520000	11520000	0,59
2500	663,8	11520000	357474,7	9749670	0,77
3000	788,8	11520000	357474,7	5954769	1,52
3500	913,8	11520000	357474,7	3957664	2,66
4000	1038,8	11520000	357474,7	2808134	4,28
4500	1163,8	11520000	357474,7	2100260	6,44
5000	1288,8	11520000	357474,7	1640757	9,16
5500	1413,8	11520000	357474,7	1329584	12,44
6000	1538,8	11520000	357474,7	1111407	16,23
6500	1663,8	11520000	357474,7	953927	20,49
7000	1788,8	11520000	357474,7	837422	25,14
7500	1913,8	11520000	357474,7	749387	30,10
8000	2038,8	11520000	357474,7	681631	35,29
8500	2163,8	11520000	357474,7	628636	40,66
9000	2288,8	11520000	357474,7	586591	46,14
9500	2413,8	11520000	357474,7	552807	51,68
10000	2538,8	11520000	357474,7	525353	57,24
8490	2161,3	11520000	357474,7	629578	40,55

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 24 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah – ujung benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	38,8	0,000000	0,000
500	163,8	0,000065	0,372
1000	288,8	0,000069	0,395
1500	413,8	0,000106	0,607
2000	538,8	0,000139	0,796
2500	663,8	0,000201	1,152
3000	788,8	0,000277	1,587
3500	913,8	0,001214	6,955
4000	1038,8	0,001777	10,181
4500	1163,8	0,002495	14,294
5000	1288,8	0,003048	17,463
5500	1413,8	0,003765	21,570
6000	1538,8	0,004112	23,558
6500	1663,8	0,004566	26,159
7000	1788,8	0,005252	30,090
7500	1913,8	0,005916	33,894
8000	2038,8	0,006071	34,782
8500	2163,8	0,006830	39,130
9000	2288,8	0,007333	42,012
9500	2413,8	0,007860	45,031
10000	2538,8	0,008533	48,887
8490	2161,3	0,008700	49,844

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

b. Benda Uji ke – 2

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 22,36 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,45 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \\ &= 2349,611 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak pengujian} = 1163,8 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen maksimum pengujian} = 2713,8 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2349,611)^{1,5} 0,0043(\sqrt{22,36}) \\ &= 23159,8 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulus rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 23159,8 \\ &= 0,247 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 635,582 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 25 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah – ujung benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
500	163,8	0,000
1000	288,8	0,210
1500	413,8	0,510
2000	538,8	1,010
2500	663,8	1,210
3000	788,8	1,310
3500	913,8	2,210
4000	1038,8	2,510
4500	1163,8	3,290
5000	1288,8	3,512
5500	1413,8	3,720
6000	1538,8	4,090
6500	1663,8	5,210
7000	1788,8	6,040
7500	1913,8	7,520
8000	2038,8	8,310
8500	2163,8	8,610
9000	2288,8	9,910
9500	2413,8	10,210
10000	2538,8	10,560
10700	2713,8	10,910
9700	2463,8	11,110

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 26 Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah - ujung benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
500	163,8	11520000	11520000	11520000	0,13
1000	288,8	11520000	11520000	11520000	0,26
1500	413,8	11520000	11520000	11520000	0,39
2000	538,8	11520000	11520000	11520000	0,52
2250	635,582	11520000	11520000	11520000	0,58
2500	663,8	11520000	355170,3	10155835	0,74
3000	788,8	11520000	355170,3	6195893	1,45
3500	913,8	11520000	355170,3	4111934	2,54
4000	1038,8	11520000	355170,3	2912410	4,10
4500	1163,8	11520000	355170,3	2173750	6,18
5000	1288,8	11520000	355170,3	1694263	8,81
5500	1413,8	11520000	355170,3	1369557	11,99
6000	1538,8	11520000	355170,3	1141891	15,69
6500	1663,8	11520000	355170,3	977562	19,86
7000	1788,8	11520000	355170,3	855991	24,42
7500	1913,8	11520000	355170,3	764127	29,31
8000	2038,8	11520000	355170,3	693425	34,46
8500	2163,8	11520000	355170,3	638124	39,78
9000	2288,8	11520000	355170,3	594251	45,23
9500	2413,8	11520000	355170,3	558998	50,75
10000	2538,8	11520000	355170,3	530349	56,31
10700	2713,8	11520000	355170,3	498598	64,09
9700	2463,8	11520000	355170,3	546839	52,98

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 27 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah – ujung benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	38,8	0,00000	0,000
500	163,8	0,00006	0,315
1000	288,8	0,00025	1,404
1500	413,8	0,00031	1,747
2000	538,8	0,00054	3,099
2500	663,8	0,00091	5,201
3000	788,8	0,00110	6,286
3500	913,8	0,00144	8,225
4000	1038,8	0,00164	9,404
4500	1163,8	0,00254	14,558
5000	1288,8	0,00350	20,023
5500	1413,8	0,00530	30,388
6000	1538,8	0,00619	35,464
6500	1663,8	0,00644	36,902
7000	1788,8	0,00730	41,829
7500	1913,8	0,00809	46,372
8000	2038,8	0,00910	52,113
8500	2163,8	0,01000	57,315
9000	2288,8	0,01092	62,563
9500	2413,8	0,01116	63,909
10000	2538,8	0,01184	67,856
10700	2713,8	0,01206	69,094
9700	2463,8	0,01270	72,760

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

c. Benda Uji ke – 3

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 21,4579 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,35 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \\ &= 2330,738 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak pengujian} = 1061,3 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen maksimum pengujian} = 2386,3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2330,738)^{1,5} 0,0043(\sqrt{21,4579}) \\ &= 22413,2 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulus rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 22413,2 \\ &= 0,2304 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 622,576 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 28 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah - ujung benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
490	161,3	0,060
1090	311,3	0,105
1490	411,3	0,350
1990	536,3	0,680
2590	686,3	1,460
2890	761,3	2,180
3490	911,3	2,300
4090	1061,3	2,720
4790	1236,3	3,200
4890	1261,3	3,940
5590	1436,3	4,190
5990	1536,3	4,350
6790	1736,3	4,650
6890	1761,3	4,820
7090	1811,3	5,750
7490	1911,3	6,180
8090	2061,3	6,800
8490	2161,3	7,820
8890	2261,3	8,540
9390	2386,3	9,120
8690	2211,3	9,680
8190	2086,3	10,920

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 29 Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah – ujung benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
490	161,3	11520000	11520000	11520000	0,13
1090	311,3	11520000	11520000	11520000	0,29
1490	411,3	11520000	11520000	11520000	0,40
1990	536,3	11520000	11520000	11520000	0,53
2290	622,577	11520000	11520000	11520000	0,61
2590	686,3	11520000	366228,2	8692644	0,92
2890	761,3	11520000	366228,2	6466267	1,38
3490	911,3	11520000	366228,2	3922672	2,75
4090	1061,3	11520000	366228,2	2617799	4,82
4790	1236,3	11520000	366228,2	1790617	8,26
4890	1261,3	11520000	366228,2	1707587	8,84
5590	1436,3	11520000	366228,2	1274602	13,53
5990	1536,3	11520000	366228,2	1108516	16,68
6790	1736,3	11520000	366228,2	880421	23,80
6890	1761,3	11520000	366228,2	858835	24,76
7090	1811,3	11520000	366228,2	819156	26,71
7490	1911,3	11520000	366228,2	751719	30,75
8090	2061,3	11520000	366228,2	673538	37,07
8490	2161,3	11520000	366228,2	632825	41,40
8890	2261,3	11520000	366228,2	598997	45,80
9390	2386,3	11520000	366228,2	564301	51,35
8690	2211,3	11520000	366228,2	615147	43,60
8190	2086,3	11520000	366228,2	662623	38,14

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 30 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan daerah ujung – tengah ujung benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	38,8	0,000000	0,000
490	161,3	0,000000	0,000
1090	311,3	0,000044	0,252
1490	411,3	0,000106	0,607
1990	536,3	0,000190	1,089
2590	686,3	0,000330	1,891
2890	761,3	0,000589	3,374
3490	911,3	0,001500	8,594
4090	1061,3	0,001755	10,055
4790	1236,3	0,002529	14,489
4890	1261,3	0,003584	20,533
5590	1436,3	0,004466	25,586
5990	1536,3	0,004700	26,927
6790	1736,3	0,006559	37,578
6890	1761,3	0,008340	47,781
7090	1811,3	0,009024	51,700
7490	1911,3	0,010320	59,125
8090	2061,3	0,010554	60,466
8490	2161,3	0,010560	60,500
8890	2261,3	0,010760	61,646
9390	2386,3	0,011902	68,189
8690	2211,3	0,013048	74,752
8190	2086,3	0,012700	72,760

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

4.3.2.4 Lilitan Daerah Ujung – Ujung

a. Benda Uji ke – 1

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 21,571 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,12 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \end{aligned}$$

$$= 2287,332 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Momen retak pengujian} = 811,3 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen maksimum pengujian} = 1811,3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2287,332)^{1,5} 0,0043(\sqrt{21,571}) \\ &= 21847,34 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulis rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 21847,34 \\ &= 0,262 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 624,217 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 31 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan daerah ujung – ujung benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
690	211,3	0,000
790	236,3	0,300
1090	311,3	0,400
1790	486,3	0,700
2290	611,3	1,190
2590	686,3	1,320
3090	811,3	1,500
3490	911,3	2,010
4090	1061,3	2,860
4590	1186,3	3,580
4990	1286,3	4,270
5490	1411,3	5,160
6090	1561,3	5,560
6590	1686,3	5,910
7090	1811,3	6,510
7000	1788,8	6,810
6900	1763,8	7,340

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 32 Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan daerah ujung – ujung benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
690	211,3	11520000	11520000	11520000	0,19
790	236,3	11520000	11520000	11520000	0,22
1090	311,3	11520000	11520000	11520000	0,30
1790	486,3	11520000	11520000	11520000	0,49
2290	611,3	11520000	11520000	11520000	0,63
2440	624,217	11520000	11520000	11520000	0,67
2590	686,3	11520000	375084,9	8760832	0,94
3090	811,3	11520000	375084,9	5451292	1,79
3490	911,3	11520000	375084,9	3956871	2,79
4090	1061,3	11520000	375084,9	2642700	4,90
4590	1186,3	11520000	375084,9	1998764	7,27
4990	1286,3	11520000	375084,9	1648755	9,58
5490	1411,3	11520000	375084,9	1339415	12,98
6090	1561,3	11520000	375084,9	1087322	17,73
6590	1686,3	11520000	375084,9	940385	22,19
7090	1811,3	11520000	375084,9	831240	27,00
7000	1788,8	11520000	375084,9	848670	26,11
6900	1763,8	11520000	375084,9	869095	25,14

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 33 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan daerah ujung – ujung benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	38,8	0,000000	0,000
690	211,3	0,000053	0,304
790	236,3	0,000099	0,567
1090	311,3	0,000137	0,785
1790	486,3	0,000286	1,639
2290	611,3	0,000464	2,658
2590	686,3	0,000786	4,503
3090	811,3	0,001320	7,563
3490	911,3	0,002300	13,177
4090	1061,3	0,003366	19,284
4590	1186,3	0,004121	23,610
4990	1286,3	0,004727	27,082
5490	1411,3	0,005713	32,731
6090	1561,3	0,006101	34,954
6590	1686,3	0,007632	43,725
7090	1811,3	0,009040	51,792
7000	1788,8	0,009600	55,000
6900	1763,8	0,009800	56,146

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

b. Benda Uji ke – 2

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 21,7976 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,98 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \\ &= 2449,634 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak pengujian} = 686,3 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen maksimum pengujian} = 1811,3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2449,634)^{1,5} 0,0043(\sqrt{21,7976}) \\ &= 24340,23 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulus rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 24340,23 \\ &= 0,235 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 627,485 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 34 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan daerah ujung – ujung benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
690	38,8	0,142
790	211,3	0,190
1090	236,3	0,750
1790	311,3	0,844
2290	486,3	1,099
2590	611,3	1,100
3090	686,3	1,235
3490	811,3	1,425
4090	911,3	1,750
4590	1061,3	2,260
4990	1186,3	2,870
5490	1286,3	3,400
6090	1411,3	3,990
6590	1561,3	4,600
7090	1686,3	5,600
7500	1811,3	6,170
6900	1788,8	7,140

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 35 Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan daerah ujung – ujung benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
690	38,8	11520000	11520000	11520000	0,17
790	211,3	11520000	11520000	11520000	0,19
1090	236,3	11520000	11520000	11520000	0,27
1790	311,3	11520000	11520000	11520000	0,44
2290	486,3	11520000	11520000	11520000	0,56
2590	611,3	11520000	339008,3	12431834	0,59
2840	627,485	11520000	339008,3	11520000	0,70
3090	686,3	11520000	339008,3	8884734	0,99
3490	811,3	11520000	339008,3	5512057	1,80
4090	911,3	11520000	339008,3	3989126	2,91
4590	1061,3	11520000	339008,3	2649883	4,92
4990	1186,3	11520000	339008,3	1993663	7,11
5490	1286,3	11520000	339008,3	1636977	9,53
6090	1411,3	11520000	339008,3	1321735	13,09
6590	1561,3	11520000	339008,3	1064833	17,59
7090	1686,3	11520000	339008,3	915093	22,02
7500	1811,3	11520000	339008,3	803866	26,51
6900	1788,8	11520000	339008,3	821629	23,86

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 36 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan daerah ujung– ujung benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	38,8	0,000000	0,000
690	38,8	0,000055	0,315
790	211,3	0,000245	1,404
1090	236,3	0,000305	1,747
1790	311,3	0,000541	3,099
2290	486,3	0,000908	5,201
2590	611,3	0,001097	6,286
3090	686,3	0,001436	8,225
3490	811,3	0,001641	9,404
4090	911,3	0,002541	14,558
4590	1061,3	0,003495	20,023
4990	1186,3	0,005304	30,388
5490	1286,3	0,006190	35,464
6090	1411,3	0,006441	36,902
6590	1561,3	0,007301	41,829
7090	1686,3	0,008094	46,372
7500	1811,3	0,009096	52,113
6900	1788,8	0,010004	57,315

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

c. Benda Uji ke – 3

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 22,0241 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{11,56 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \\ &= 2181,647 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak} = 811,3 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen Maksimum} = 1811,3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2181,647)^{1,5} 0,0043(\sqrt{22,0241}) \\ &= 20563,35 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulus rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 20563,35 \\ &= 0,278 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 630,736 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 37 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan tulangan bambu lilitan daerah ujung - ujung benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
690	211,3	0,106
790	236,3	0,156
1090	311,3	0,483
1790	486,3	0,649
2290	611,3	0,993
2590	686,3	1,226
3090	811,3	1,342
3490	911,3	1,735
4090	1061,3	2,265
4590	1186,3	2,790
4990	1286,3	2,940
5490	1411,3	3,420
6090	1561,3	5,490
6590	1686,3	6,050
7090	1811,3	7,095
6900	1763,8	7,955
5500	1413,8	8,340

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 38 Hasil analisa lendutan teoritis tulangan bambu lilitan daerah ujung
– ujung benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
690	211,3	11520000	11520000	11520000	0,20
790	236,3	11520000	11520000	11520000	0,23
1090	311,3	11520000	11520000	11520000	0,32
1790	486,3	11520000	11520000	11520000	0,52
2290	611,3	11520000	11520000	11520000	0,67
2440	630,737	11520000	396897,3	11520000	0,71
2590	686,3	11520000	396897,3	9031212	0,96
3090	811,3	11520000	396897,3	5623572	1,85
3490	911,3	11520000	396897,3	4084854	2,87
4090	1061,3	11520000	396897,3	2731728	5,04
4590	1186,3	11520000	396897,3	2068705	7,46
4990	1286,3	11520000	396897,3	1708321	9,83
5490	1411,3	11520000	396897,3	1389812	13,29
6090	1561,3	11520000	396897,3	1130246	18,12
6590	1686,3	11520000	396897,3	978954	22,64
7090	1811,3	11520000	396897,3	866574	27,52
6900	1763,8	11520000	396897,3	905551	25,63
5500	1413,8	11520000	396897,3	1384554	13,36

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 39 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan tulangan bambu lilitan daerah ujung – ujung benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	38,8	0,000000	0,000
690	211,3	0,000012	0,069
790	236,3	0,000044	0,252
1090	311,3	0,000106	0,607
1790	486,3	0,000190	1,089
2290	611,3	0,000330	1,891
2590	686,3	0,000589	3,374
3090	811,3	0,001500	8,594
3490	911,3	0,001755	10,055
4090	1061,3	0,002529	14,489
4590	1186,3	0,003584	20,533
4990	1286,3	0,004466	25,586
5490	1411,3	0,004700	26,927
6090	1561,3	0,006559	37,578
6590	1686,3	0,008340	47,781
7090	1811,3	0,009024	51,700
6900	1763,8	0,010320	59,125
5500	1413,8	0,010554	60,466

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

4.3.3 Kelompok Pengujian Ke-2

Pada tahapan ini dilakukan pengujian benda uji dengan memperkirakan kapasitas lentur, regangan dan juga lendutan yang terjadi pada balok beton bertulangan bambu dengan perlakuan pada sambungan lewatan (*Lap splice*). Adapun hasil pengamatan benda uji adalah sebagai berikut :

4.3.3.1 Sambungan Lewatan ke-1 (*Lap Splice I*)

a. Benda Uji ke – 1

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 21,005 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{11,75 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \\ &= 2217,504 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Momen retak pengujian} &= 1186,3 \text{ N.m} \\ \text{Momen maksimum pengujian} &= 2811,3 \text{ N.m} \\ E_s \text{ bambu} &= 5729,17 \text{ N/mm}^2 \\ E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2217,504)^{1,5} 0,0043(\sqrt{21,005}) \\ &= 20579,08 \text{ N/mm}^2 \\ n \text{ (modulus rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 20579,08 \\ &= 0,2784 \end{aligned}$$

Momen retak teoritis, $M_{cr} = 615,971 \text{ N.m}$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 40 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewatan 1 tulangan bambu benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
490	161,3	0,070
890	261,3	0,123
1590	436,3	0,215
1890	511,3	0,454
2590	686,3	0,888
2890	761,3	1,352
3390	886,3	1,450
4090	1061,3	2,045
4590	1186,3	2,840
5090	1311,3	3,125
5590	1436,3	3,915
5890	1511,3	4,380
6590	1686,3	5,025
6990	1786,3	5,480
7690	1961,3	6,290
8190	2086,3	6,925
8690	2211,3	7,645
9190	2336,3	8,370
9690	2461,3	9,260
10190	2586,3	10,343
10190	2586,3	11,425
10690	2711,3	12,291
10990	2786,3	12,326
11090	2811,3	12,400
10490	2661,3	12,700

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 41 Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 1 tulangan bambu benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
490	161,3	11520000	11520000	11520000	0,14
890	261,3	11520000	11520000	11520000	0,26
1590	436,3	11520000	11520000	11520000	0,46
1890	511,3	11520000	11520000	11520000	0,55
2240	615,971	11520000	11520000	11520000	0,65
2590	686,3	11520000	396614	8438824	1,03
2890	761,3	11520000	396614	6288440	1,54
3390	886,3	11520000	396614	4130622	2,76
4090	1061,3	11520000	396614	2571332	5,35
4590	1186,3	11520000	396614	1953776	7,90
5090	1311,3	11520000	396614	1549566	11,04
5590	1436,3	11520000	396614	1273983	14,75
5890	1511,3	11520000	396614	1149736	17,22
6590	1686,3	11520000	396614	938756	23,59
6990	1786,3	11520000	396614	852708	27,55
7690	1961,3	11520000	396614	741190	34,87
8190	2086,3	11520000	396614	682892	40,31
8690	2211,3	11520000	396614	637036	45,85
9190	2336,3	11520000	396614	600474	51,44
9690	2461,3	11520000	396614	570965	57,04
10190	2586,3	11520000	396614	546887	62,63
10190	2586,3	11520000	396614	546887	62,63
10690	2711,3	11520000	396614	527046	68,17
10990	2786,3	11520000	396614	516795	71,47
11090	2811,3	11520000	396614	513617	72,57
10490	2661,3	11520000	396614	534537	65,96

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 42 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan lewatan 1 tulangan bambu benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
890	261,3	0,000	0,871
1590	436,3	0,000	1,444
1890	511,3	0,001	3,243
2590	686,3	0,002	12,083
2890	761,3	0,004	20,367
3390	886,3	0,005	26,028
4090	1061,3	0,006	33,751
4590	1186,3	0,007	41,485
5090	1311,3	0,008	45,919
5590	1436,3	0,009	50,485
5890	1511,3	0,009	53,934
6590	1686,3	0,010	57,401
6990	1786,3	0,011	60,242
7690	1961,3	0,011	64,213
8190	2086,3	0,012	67,587
8690	2211,3	0,012	70,698
9190	2336,3	0,012	71,053
9690	2461,3	0,013	74,135
10190	2586,3	0,013	74,365
10190	2586,3	0,014	77,636
10690	2711,3	0,014	80,781
10990	2786,3	0,014	81,469
11090,0	2811,3	0,015	83,846
10490,0	2661,3	0,018	105,205

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

b. Benda Uji ke – 2

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 21,2314 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,45 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \\ &= 2349,611 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak} = 1136.3 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen Maksimum} = 2511.3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2349,611)^{1,5} 0,0043(\sqrt{21,2314}) \\ &= 22565,86 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulus rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 22565,86 \\ &= 0,2539 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 619,283 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 43 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewat 1 tulangan bambu benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
390	136,3	0,142
690	211,3	0,190
1090	311,3	0,750
1390	386,3	0,844
2390	636,3	1,099
2790	736,3	1,100
3690	961,3	1,235
4190	1086,3	1,425
4390	1136,3	1,750
5090	1311,3	2,260
5590	1436,3	2,870
5590	1436,3	3,400
6090	1561,3	3,990
6090	1561,3	4,600
6590	1686,3	5,600
6690	1711,3	6,170
7190	1836,3	7,140
7690	1961,3	8,353
8190	2086,3	9,403
9490	2411,3	12,373
9890	2511,3	13,259
8490	2161,3	13,900
8000	2038,8	14,033

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 44 Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 1 tulangan bambu benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
390	136,3	11520000	11520000	11520000	0,10
690	211,3	11520000	11520000	11520000	0,18
1090	311,3	11520000	11520000	11520000	0,29
1390	386,3	11520000	11520000	11520000	0,37
1890	619,283	11520000	11520000	11520000	0,50
2390	636,3	11520000	363910	10648635	0,69
2790	736,3	11520000	363909,6	7001555	1,22
3690	961,3	11520000	363909,6	3346555	3,38
4190	1086,3	11520000	363909,6	2430856	5,28
4390	1136,3	11520000	363909,6	2169834	6,20
5090	1311,3	11520000	363909,6	1539003	10,14
5590	1436,3	11520000	363909,6	1258127	13,62
5590	1436,3	11520000	363909,6	1258127	13,62
6090	1561,3	11520000	363909,6	1060086	17,61
6090	1561,3	11520000	363909,6	1060086	17,61
6590	1686,3	11520000	363909,6	916463	22,04
6690	1711,3	11520000	363909,6	892598	22,97
7190	1836,3	11520000	363909,6	791815	27,83
7690	1961,3	11520000	363909,6	715103	32,96
8190	2086,3	11520000	363909,6	655685	38,29
9490	2411,3	11520000	363909,6	552893	52,61
9890	2511,3	11520000	363909,6	531204	57,07
8490	2161,3	11520000	363909,6	626352	41,55
8000	2038,8	11520000	363909,6	676557	36,24

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 45 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan melewati 1 tulangan bambu benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
690	211,3	0,000	1,404
1090	311,3	0,000	1,747
1390	386,3	0,001	3,099
2390	636,3	0,001	5,201
2790	736,3	0,001	6,286
3690	961,3	0,001	8,225
4190	1086,3	0,002	9,404
4390	1136,3	0,003	14,558
5090	1311,3	0,003	20,023
5590	1436,3	0,005	30,388
5590	1436,3	0,006	35,464
6090	1561,3	0,006	36,902
6090	1561,3	0,007	41,829
6590	1686,3	0,008	46,372
6690	1711,3	0,009	52,113
7190	1836,3	0,010	57,315
7690	1961,3	0,011	62,563
8190	2086,3	0,011	63,909
9490	2411,3	0,012	67,856
9890	2511,3	0,012	69,094
8490	2161,3	0,013	72,760
8000	2038,8	0,014	77,344

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

c. Benda Uji ke – 3

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 21,7976 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,02 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \\ &= 2268,46 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak pengujian} = 1136,3 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen maksimum pengujian} = 2486,3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2268,46)^{1,5} 0,0043(\sqrt{21,7976}) \\ &= 21690,49 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulus rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 21690,49 \\ &= 0,264 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 627,485 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 46 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewat 1 tulangan bambu benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
390	136,3	0,106
990	286,3	0,156
1490	411,3	0,483
1990	536,3	0,649
2490	661,3	0,993
2990	786,3	1,226
3590	936,3	1,342
3990	1036,3	1,735
4390	1136,3	2,265
5090	1311,3	2,790
5490	1411,3	2,940
6190	1586,3	3,420
6590	1686,3	5,490
6790	1736,3	6,050
7590	1936,3	7,095
7890	2011,3	7,955
8790	2236,3	8,910
9290	2361,3	10,080
9790	2486,3	10,640
9290	2361,3	11,120
8790	2236,3	11,782

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 47 Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 1 tulangan bambu benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
390	136,3	11520000	11520000	11520000	0,11
990	286,3	11520000	11520000	11520000	0,27
1490	411,3	11520000	11520000	11520000	0,41
1990	536,3	11520000	11520000	11520000	0,55
2240	627,485	11520000	11520000	11520000	0,62
2490	661,3	11520000	377618	9896657	0,80
2990	786,3	11520000	377618	6040322	1,58
3590	936,3	11520000	377618	3731468	3,07
3990	1036,3	11520000	377618	2851233	4,46
4390	1136,3	11520000	377618	2253950	6,21
5090	1311,3	11520000	377618	1598525	10,15
5490	1411,3	11520000	377618	1356952	12,90
6190	1586,3	11520000	377618	1067274	18,49
6590	1686,3	11520000	377618	951714	22,08
6790	1736,3	11520000	377618	903532	23,96
7590	1936,3	11520000	377618	756820	31,98
7890	2011,3	11520000	377618	715962	35,14
8790	2236,3	11520000	377618	623767	44,94
9290	2361,3	11520000	377618	586709	50,49
9790	2486,3	11520000	377618	556731	56,07
9290	2361,3	11520000	377618	586709	50,49
8790	2236,3	11520000	377618	623767	44,94

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 48 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan melewati 1 tulangan bambu benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	38,8	0,000000	0,000
390	136,3	0,000012	0,069
990	286,3	0,000044	0,252
1490	411,3	0,000106	0,607
1990	536,3	0,000190	1,089
2490	661,3	0,000330	1,891
2990	786,3	0,000589	3,374
3590	936,3	0,001500	8,594
3990	1036,3	0,001755	10,055
4390	1136,3	0,002529	14,489
5090	1311,3	0,003584	20,533
5490	1411,3	0,004466	25,586
6190	1586,3	0,004700	26,927
6590	1686,3	0,006559	37,578
6790	1736,3	0,008340	47,781
7590	1936,3	0,009024	51,700
7890	2011,3	0,010320	59,125
8790	2236,3	0,010554	60,466
9290	2361,3	0,010560	60,500
9790	2486,3	0,010760	61,646
9290	2361,3	0,011902	68,189
8790	2236,3	0,013048	74,752

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

4.3.3.2 Sambungan Lewatan ke-2 (*Lap Splice 2*)

a. Benda Uji ke – 1

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 20,6086 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,08 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \end{aligned}$$

$$= 2279,783 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Momen retak pengujian} = 1411,3 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen maksimum pengujian} = 2786,3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2279,783)^{1,5} 0,0043(\sqrt{20,6086}) \\ &= 21248,75 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulis rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 21248,75 \\ &= 0,269 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 610,132 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 49 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewatan 2 tulang bambu benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
790	236,3	0,070
1040	298,8	0,123
1290	361,3	0,215
1490	411,3	0,454
1890	511,3	0,888
2790	736,3	1,352
2990	786,3	1,450
3790	986,3	2,045
3990	1036,3	2,840
4590	1186,3	3,125
5090	1311,3	3,915
5490	1411,3	4,380
5990	1536,3	5,025
6490	1661,3	5,480
7190	1836,3	6,290
7490	1911,3	6,925
7990	2036,3	7,645
8490	2161,3	8,370
8990	2286,3	9,260
9490	2411,3	10,343
9990	2536,3	11,425
10990	2786,3	12,155
11990	2286,3	12,813
8990	1711,3	13,120

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 50 Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 2 tulangan bambu benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
790	236,3	11520000	11520000	11520000	0,22
1040	298,8	11520000	11520000	11520000	0,29
1290	361,3	11520000	11520000	11520000	0,36
1490	411,3	11520000	11520000	11520000	0,42
1890	511,3	11520000	11520000	11520000	0,53
2340	610,132	11520000	11520000	11520000	0,66
2790	736,3	11520000	384942,4	6720717	1,35
2990	786,3	11520000	384942,4	5587289	1,74
3790	986,3	11520000	384942,4	3020891	4,08
3990	1036,3	11520000	384942,4	2657462	4,89
4590	1186,3	11520000	384942,4	1899830	7,86
5090	1311,3	11520000	384942,4	1506594	11,00
5490	1411,3	11520000	384942,4	1284660	13,91
5990	1536,3	11520000	384942,4	1082429	18,01
6490	1661,3	11520000	384942,4	936537	22,56
7190	1836,3	11520000	384942,4	793387	29,50
7490	1911,3	11520000	384942,4	747167	32,63
7990	2036,3	11520000	384942,4	684471	38,00
8490	2161,3	11520000	384942,4	635449	43,49
8990	2286,3	11520000	384942,4	596566	49,05
9490	2411,3	11520000	384942,4	565331	54,64
9990	2536,3	11520000	384942,4	539953	60,22
10990	2786,3	11520000	384942,4	501860	71,28
11990	2286,3	11520000	384942,4	596566	65,42
8990	1711,3	11520000	384942,4	889587	32,90

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 51 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan lewat 2 tulangan bambu benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	38,8	0,000000	0,000
790	236,3	0,000106	0,607
1040	298,8	0,000152	0,871
1290	361,3	0,000252	1,444
1490	411,3	0,000566	3,243
1890	511,3	0,002109	12,083
2790	736,3	0,003555	20,367
2990	786,3	0,004543	26,028
3790	986,3	0,005891	33,751
3990	1036,3	0,007241	41,485
4590	1186,3	0,008015	45,919
5090	1311,3	0,008812	50,485
5490	1411,3	0,009414	53,934
5990	1536,3	0,010019	57,401
6490	1661,3	0,010515	60,242
7190	1836,3	0,011208	64,213
7490	1911,3	0,011797	67,587
7990	2036,3	0,012340	70,698
8490	2161,3	0,012402	71,053
8990	2286,3	0,012940	74,135
9490	2411,3	0,012980	74,365
9990	2536,3	0,013551	77,636
10990	2786,3	0,014100	80,781
11990	2286,3	0,014635	83,846
8990	1711,3	0,018363	105,205

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

b. Benda Uji ke – 2

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 22,1373 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,34 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \\ &= 2328,851 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak pengujian} = 1411,3 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen maksimum pengujian} = 2536,3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2328,851)^{1,5} 0,0043(\sqrt{22,1373}) \\ &= 22737,53 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulus rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 22737,53 \\ &= 0,252 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 632,356 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 52 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewat 2 tulangan bambu benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
590	186,3	0,106
790	236,3	0,156
1190	336,3	0,483
1590	436,3	0,649
2090	561,3	0,993
2490	661,3	1,226
3090	811,3	1,342
3490	911,3	1,735
3990	1036,3	2,285
4490	1161,3	2,725
4890	1261,3	3,242
5490	1411,3	3,733
5990	1536,3	4,835
6490	1661,3	5,377
7190	1836,3	6,328
7490	1911,3	7,017
7990	2036,3	7,898
8490	2161,3	8,934
8990	2286,3	9,768
9490	2411,3	10,151
9990	2536,3	10,940
8990	2286,3	11,210

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 53 Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 2 tulangan bambu benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
590	186,3	11520000	11520000	11520000	0,16
790	236,3	11520000	11520000	11520000	0,21
1190	336,3	11520000	11520000	11520000	0,31
1590	436,3	11520000	11520000	11520000	0,42
2090	561,3	11520000	11520000	11520000	0,55
2290	632,356	11520000	11520000	11520000	0,60
2490	661,3	11520000	361338,9	10118000	0,75
3090	811,3	11520000	361338,9	5645212	1,67
3490	911,3	11520000	361338,9	4089654	2,60
3990	1036,3	11520000	361338,9	2896703	4,19
4490	1161,3	11520000	361338,9	2162960	6,31
4890	1261,3	11520000	361338,9	1767521	8,42
5490	1411,3	11520000	361338,9	1365119	12,23
5990	1536,3	11520000	361338,9	1139499	15,99
6490	1661,3	11520000	361338,9	976732	20,21
7190	1836,3	11520000	361338,9	817025	26,77
7490	1911,3	11520000	361338,9	765459	29,77
7990	2036,3	11520000	361338,9	695512	34,95
8490	2161,3	11520000	361338,9	640819	40,30
8990	2286,3	11520000	361338,9	597440	45,77
9490	2411,3	11520000	361338,9	562592	51,31
9990	2536,3	11520000	361338,9	534279	56,88
8990	2286,3	11520000	361338,9	597440	45,77

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 54 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan lewat 2 tulangan bambu benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	38,8	0,000000	0,000
590	186,3	0,000057	0,327
790	236,3	0,000065	0,372
1190	336,3	0,000108	0,619
1590	436,3	0,000173	0,991
2090	561,3	0,000256	1,467
2490	661,3	0,000409	2,343
3090	811,3	0,000792	4,538
3490	911,3	0,001447	8,290
3990	1036,3	0,003273	18,752
4490	1161,3	0,004530	25,953
4890	1261,3	0,005806	33,264
5490	1411,3	0,006690	38,328
5990	1536,3	0,007660	43,885
6490	1661,3	0,008489	48,635
7190	1836,3	0,010233	58,627
7490	1911,3	0,010576	60,592
7990	2036,3	0,011488	65,817
8490	2161,3	0,013464	77,138
8990	2286,3	0,014517	83,170
9490	2411,3	0,015234	87,278
9990	2536,3	0,015270	87,484
8990	2286,3	0,015804	90,544

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

c. Benda Uji ke – 3

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 21,6277 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,23 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \\ &= 2308,092 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak pengujian} = 1311,3 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen maksimum pengujian} = 2386,3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2308,092)^{1,5} 0,0043(\sqrt{21,6277}) \\ &= 22174,49 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulus rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 22174,49 \\ &= 0,258 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 625,036 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 55 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewatan 2 tulangan bambu benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
1090	311,3	0,088
1590	436,3	0,139
1890	511,3	0,349
2690	711,3	0,551
3090	811,3	0,940
3590	936,3	1,289
4090	1061,3	1,396
4590	1186,3	1,890
5090	1311,3	4,040
5590	1436,3	4,890
6090	1561,3	5,555
6490	1661,3	6,192
7090	1811,3	7,795
7390	1886,3	8,475
8290	2111,3	10,365
8490	2161,3	10,950
8890	2261,3	12,080
9390	2386,3	13,200
7490	1403,8	13,700

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 56 Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 2 tulangan bambu benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen (N.mm)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
1090	311,3	11520000	11520000	11520000	0,30
1590	436,3	11520000	11520000	11520000	0,43
1890	511,3	11520000	11520000	11520000	0,51
2290	625,036	11520000	11520000	11520000	0,62
2690	711,3	11520000	11520000	11520000	0,73
3090	811,3	11520000	369911	5468482	1,76
3590	936,3	11520000	369911	3686929	3,04
4090	1061,3	11520000	369911	2647516	4,82
4590	1186,3	11520000	369911	2000744	7,16
5090	1311,3	11520000	369911	1577410	10,07
5590	1436,3	11520000	369911	1288788	13,53
6090	1561,3	11520000	369911	1085286	17,50
6490	1661,3	11520000	369911	963723	21,01
7090	1811,3	11520000	369911	828076	26,71
7390	1886,3	11520000	369911	775570	29,72
8290	2111,3	11520000	369911	659208	39,23
8490	2161,3	11520000	369911	639591	41,40
8890	2261,3	11520000	369911	605372	45,81
9390	2386,3	11520000	369911	570274	51,36
7490	1403,8	11520000	369911	1354097	17,25

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 57 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan lewat 2 tulangan bambu benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	38,8	0,000000	0,000
1090	311,3	0,000356	2,040
1590	436,3	0,000502	2,876
1890	511,3	0,000943	5,403
2690	711,3	0,001484	8,502
3090	811,3	0,002321	13,297
3590	936,3	0,003165	18,133
4090	1061,3	0,004216	24,154
4590	1186,3	0,005412	31,006
5090	1311,3	0,006256	35,842
5590	1436,3	0,007386	42,316
6090	1561,3	0,008115	46,492
6490	1661,3	0,009063	51,923
7090	1811,3	0,009923	56,851
7390	1886,3	0,010279	58,890
8290	2111,3	0,011520	66,000
8490	2161,3	0,011630	66,630
8890	2261,3	0,012279	70,348
9390	2386,3	0,012614	72,268
7490	1403,8	0,015240	87,313

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

4.3.3.3 Sambungan Lewatan ke-3 (*Lap Splice 3*)

a. Benda Uji ke – 1

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 21,2314 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,11 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \end{aligned}$$

$$= 2285,445 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Momen retak pengujian} = 1661,3 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen maksimum pengujian} = 2386,3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2268,46)^{1,5} 0,0043(\sqrt{21,2314}) \\ &= 21647,82 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulis rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 21647,82 \\ &= 0,2646 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 619,283 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 58 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewatan 3 tulangan bambu benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
1090	311,3	0,141
1000	436,3	0,277
1890	511,3	0,473
2690	711,3	0,877
3090	811,3	1,273
3590	936,3	1,800
4090	1061,3	2,364
4590	1186,3	3,118
5090	1311,3	3,673
5590	1436,3	4,445
6090	1561,3	5,050
6490	1661,3	5,814
7090	1811,3	7,086
7390	1886,3	7,705
8290	2111,3	9,423
8490	2161,3	9,955
8890	2261,3	10,982
9390	2386,3	12,000
5460	1403,8	12,273

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 59 Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 3 tulangan bambu benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen (N.m)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
1090	311,3	11520000	11520000	11520000	0,30
1000	436,3	11520000	11520000	11520000	0,28
1890	511,3	11520000	11520000	11520000	0,52
2290	619,283	11520000	11520000	11520000	0,64
2690	711,3	11520000	378313	7731218	1,11
3090	811,3	11520000	378313	5333648	1,85
3590	936,3	11520000	378313	3602145	3,18
4090	1061,3	11520000	378313	2591932	5,04
4590	1186,3	11520000	378313	1963330	7,47
5090	1311,3	11520000	378313	1551889	10,48
5590	1436,3	11520000	378313	1271376	14,05
6090	1561,3	11520000	378313	1073591	18,12
6490	1661,3	11520000	378313	955443	21,70
7090	1811,3	11520000	378313	823606	27,51
7390	1886,3	11520000	378313	772575	30,56
8290	2111,3	11520000	378313	659482	40,16
8490	2161,3	11520000	378313	640416	42,36
8890	2261,3	11520000	378313	607159	46,78
9390	2386,3	11520000	378313	573047	52,36
5460	1403,8	11520000	378313	1334850	13,07

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 60 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan lewat 3 tulangan bambu benda uji ke-1

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	38,8	0,000000	0,000
890	311,3	0,000356	2,040
1000	436,3	0,000502	2,876
1890	511,3	0,000943	5,403
2690	711,3	0,001484	8,502
3090	811,3	0,002321	13,297
3590	936,3	0,002743	15,715
4090	1061,3	0,003165	18,133
4590	1186,3	0,004216	24,154
5090	1311,3	0,005412	31,006
5590	1436,3	0,006256	35,842
6090	1561,3	0,007386	42,316
6490	1661,3	0,008115	46,492
7090	1811,3	0,009063	51,923
7390	1886,3	0,009923	56,851
8290	2111,3	0,010279	58,890
8490	2161,3	0,011520	66,000
8890	2261,3	0,011630	66,630
9390	2386,3	0,012279	70,348
5460	1403,8	0,012614	72,268

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

b. Benda Uji ke – 2

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 22,0241 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,02 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \\ &= 2328,851 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak pengujian} = 1561,3 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen maksimum pengujian} = 2411,3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2328,851)^{1,5} 0,0043(\sqrt{22,0241}) \\ &= 22679,31 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulus rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 22679,31 \\ &= 0,252 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 630,737 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 61 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewatan 3 tulangan bambu benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
290	38,8	0,000
1000	111,3	0,106
1090	161,3	0,156
1590	311,3	0,483
2090	436,3	0,649
2590	561,3	0,993
3090	686,3	1,226
3590	811,3	1,342
3890	936,3	1,735
4390	1011,3	2,285
4890	1136,3	2,725
5590	1261,3	3,242
6090	1436,3	3,733
6390	1561,3	4,835
6890	1636,3	5,377
7390	1761,3	6,328
7990	1886,3	7,017
8390	2036,3	7,898
8990	2136,3	8,934
9490	2286,3	9,768
10190	2411,3	10,151

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 62 Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 3 tulangan bambu benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen (N.m)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
290	38,8	11520000	11520000	11520000	0,08
1000	111,3	11520000	11520000	11520000	0,26
1090	161,3	11520000	11520000	11520000	0,29
1590	311,3	11520000	11520000	11520000	0,42
2090	436,3	11520000	11520000	11520000	0,55
2590	561,3	11520000	11520000	11520000	0,69
2840	630,737	11520000	11520000	11520000	0,75
3090	686,3	11520000	362206,7	9023450	1,04
3590	811,3	11520000	362206,7	5605182	1,95
3890	936,3	11520000	362206,7	3773171	3,14
4390	1011,3	11520000	362206,7	3069169	4,36
4890	1136,3	11520000	362206,7	2270492	6,57
5590	1261,3	11520000	362206,7	1757505	9,70
6090	1436,3	11520000	362206,7	1307109	14,21
6390	1561,3	11520000	362206,7	1097843	17,75
6890	1636,3	11520000	362206,7	1001255	20,99
7390	1761,3	11520000	362206,7	874622	25,77
7990	1886,3	11520000	362206,7	779355	31,27
8390	2036,3	11520000	362206,7	693793	36,88
8990	2136,3	11520000	362206,7	649374	42,22
9490	2286,3	11520000	362206,7	596480	48,52
10190	2411,3	11520000	362206,7	561902	55,31

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 63 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan melewati 3 tulangan bambu benda uji ke-2

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
290	38,8	0,00000	0,000
1000	111,3	0,00105	6,016
1090	161,3	0,00135	7,734
1590	311,3	0,00155	8,880
2090	436,3	0,00190	10,885
2590	561,3	0,00210	12,031
3090	686,3	0,00220	12,604
3590	811,3	0,00240	13,750
3890	936,3	0,00240	13,750
4390	1011,3	0,00295	16,901
4890	1136,3	0,00345	19,766
5590	1261,3	0,00515	29,505
6090	1436,3	0,00540	30,938
6390	1561,3	0,00570	32,656
6890	1636,3	0,00678	38,815
7390	1761,3	0,00785	44,974
7990	1886,3	0,00835	47,839
8390	2036,3	0,00870	49,844
8990	2136,3	0,01125	64,453
9490	2286,3	0,01205	69,036
10190	2411,3	0,01250	71,615

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

c. Benda Uji ke – 3

Keterangan :

$$F_c' \text{ (pengujian)} = 21,4579 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} W_c \text{ (berat isi beton)} &= \frac{\text{Berat beton (silinder)}}{\text{Volume}} \\ &= \frac{12,5 \text{ kg}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3} \\ &= 2359,047 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak} = 1561,3 \text{ N.m}$$

$$\text{Momen Maksimum} = 2961,3 \text{ N.m}$$

$$E_s \text{ bambu} = 5729,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c \text{ (modulus elastisitas beton)} &= (w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'}) \\ &= (2359,047)^{1,5} 0,0043(\sqrt{21,4579}) \\ &= 22822,69 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ (modulus rasio)} &= E_s / E_c \\ &= 5729,17 / 22822,69 \\ &= 0,2510 \end{aligned}$$

$$\text{Momen retak teoritis, } M_{cr} = 622,577 \text{ N.m}$$

Momen – Lendutan

Tabel 4. 64 Hubungan hasil pengujian antara momen dan lendutan sambungan lewatan 3 tulangan bambu benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Lendutan Eksperimen 1/2 Bentang (mm)
0	38,8	0,000
500	163,8	0,123
1090	311,3	0,217
1500	413,8	0,478
2090	561,3	0,763
2890	761,3	1,133
3000	788,8	1,513
3590	936,3	1,853
4090	1061,3	2,427
4590	1186,3	2,979
4890	1261,3	3,585
5590	1436,3	4,146
6090	1561,3	4,773
6590	1686,3	5,961
6990	1786,3	6,541
7390	1886,3	7,876
7890	2011,3	8,486
8690	2211,3	9,440
8890	2261,3	10,467
9690	2461,3	11,020
9990	2536,3	11,571
10490	2661,3	12,150
11190	2836,3	12,757
11690	2961,3	13,395
8690	2211,3	13,700

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tabel 4. 65 Hasil analisa lendutan teoritis sambungan lewatan 3 tulangan bambu benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen (N.m)	Ig	Icr	Ieff	Lendutan Teoritis (mm)
0	38,8	11520000	11520000	11520000	0,00
500	163,8	11520000	11520000	11520000	0,13
1090	311,3	11520000	11520000	11520000	0,29
1500	413,8	11520000	11520000	11520000	0,39
2090	561,3	11520000	11520000	11520000	0,55
2890	622,577	11520000	11520000	11520000	0,76
2890	761,3	11520000	360077	6463480	1,36
3000	788,8	11520000	360077	5847126	1,55
3590	936,3	11520000	360077	3640989	2,99
4090	1061,3	11520000	360077	2612890	4,74
4590	1186,3	11520000	360077	1973158	7,05
4890	1261,3	11520000	360077	1702176	8,71
5590	1436,3	11520000	360077	1268952	13,35
6090	1561,3	11520000	360077	1067665	17,29
6590	1686,3	11520000	360077	921688	21,67
6990	1786,3	11520000	360077	832550	25,44
7390	1886,3	11520000	360077	761320	29,42
7890	2011,3	11520000	360077	691063	34,60
8690	2211,3	11520000	360077	609133	43,24
8890	2261,3	11520000	360077	592975	45,44
9690	2461,3	11520000	360077	540689	54,31
9990	2536,3	11520000	360077	525136	57,65
10490	2661,3	11520000	360077	502953	63,21
11190	2836,3	11520000	360077	478105	70,93
11690	2961,3	11520000	360077	463781	76,39
8690	2211,3	11520000	360077	609133	43,24

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Tegangan – Regangan

Tabel 4. 66 Hubungan hasil pengujian antara tegangan – regangan sambungan melewati 3 tulangan bambu benda uji ke-3

Beban Pengujian (N)	Momen akibat Beban Pengujian dan Beban Mati (Selfweight) (N.m)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0	38,8	0,000000	0,000
500	163,8	0,000000	0,000
1090	311,3	0,000074	0,424
1500	413,8	0,000094	0,539
2090	561,3	0,000114	0,653
2890	761,3	0,000212	1,215
3000	788,8	0,000272	1,558
3590	936,3	0,000332	1,902
4090	1061,3	0,000464	2,658
4590	1186,3	0,000966	5,534
4890	1261,3	0,001765	10,112
5590	1436,3	0,002747	15,738
6090	1561,3	0,003572	20,465
6590	1686,3	0,004542	26,022
6990	1786,3	0,005289	30,302
7390	1886,3	0,006107	34,988
7890	2011,3	0,006938	39,749
8690	2211,3	0,007475	42,826
8890	2261,3	0,007928	45,421
9690	2461,3	0,009028	51,723
9990	2536,3	0,011454	65,622
10490	2661,3	0,012694	72,726
11190	2836,3	0,013767	78,873
11690	2961,3	0,015274	87,507
8690,0	2211,3	0,016200	92,813

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

BAB V

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

5.1 Analisa Data Penelitian

5.1.1 Analisa Data Statistik Interval Kepercayaan Kekuatan Tekan Beton

Untuk pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah beton berumur 28 hari dan telah melakukan perawatan benda uji sebelumnya. Data hasil pengujian ini kemudian digunakan sebagai data analisa dari benda uji pada pengujian kuat lentur yang telah dilakukan. Di bawah ini adalah contoh pengujian interval kepercayaan kekuatan tekan beton :

Tabel 5.1. Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Kelompok Pengujian	Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Berat (Kg)	Tekanan hancur (N)	fc' (N/mm ²)
A	Polos	1	12.14	378000	21.401
		2	12.28	365000	20.665
		3	12.37	375000	21.231
	Full	4	12.43	383000	21.684
		5	12.35	369000	20.892
		6	12.44	371000	21.005
	U - T - U	7	12.51	384000	21.741
		8	12.45	395000	22.364
		9	12.35	379000	21.458

	U - U	10	12.12	381000	21.571
		11	12.98	385000	21.798
		12	11.56	389000	22.024
B	Ls 1	13	11.75	371000	21.005
		14	12.45	375000	21.231
		15	12.02	385000	21.798
	Ls 2	16	12.08	364000	20.609
		17	12.34	391000	22.137
		18	12.23	382000	21.628
	Ls 3	19	12.11	375000	21.231
		20	12.34	389000	22.024
		21	12.5	379000	21.458

Sumber : Hasil pengujian dan Analisa data

Keterangan :

- Tegangan hancur (f'_c) $= \frac{P}{A \times F_u}$
- P = Beban axial tekan maksimal (N)
- A = Luas penampang benda uji (mm^2)
- F_u = Faktor umur beton (untuk 28 hari = 1,00)
- Diameter Penampang = 150 mm

Dari data pada tabel di atas kemudian dicari nilai :

$$\bar{X} = \frac{\sum f_c' (\text{Jumlah Kuat Tekan Beton Pengujian})}{\text{Jumlah Sampel}}$$

$$= \frac{21.401 + \dots + 21.458}{21}$$

$$= 21.4741 \text{ Mpa}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$= 0,477 \text{ Mpa}$$

Diketahui :

$$P = \frac{1}{2} (1 + 0,95) = 0.975$$

$$Df (\text{Degree of freedom}) = n - 1$$

$$= 21 - 1 = 20$$

$$t_{0,975} = 2.08596$$

Keterangan : X = Nilai rata-rata

Sd = Standar deviasi

P = Persentil

$t_{0,975}$ = Nilai t pada persentil 0.25

Maka nilai interval kepercayaannya adalah :

$$\begin{aligned} &= \bar{x} - \left(t^{0,975} \frac{s}{\sqrt{n}} \right) < \mu < \bar{x} + \left(t^{0,975} \frac{s}{\sqrt{n}} \right) \\ &= 21,4741 - \left(2,08596 \times \frac{0,477}{\sqrt{21}} \right) < \mu < 21,4741 + \left(2,08596 \times \frac{0,477}{\sqrt{21}} \right) \\ &= 21.257 < \mu < 21.691 \end{aligned}$$

Jadi, sesuai dengan range interval kepercayaan pada perhitungan di atas, maka data pengujian terhadap pengontrolan mutu beton (kuat tekan beton) adalah memenuhi kelayakan. Pengujian rerata tersebut adalah sebesar 21.4741 MPa, nilai tersebut berada diantara batas bawah dan batas atas interval kepercayaan yaitu berturut – turut sebesar 21.257 MPa dan 21.691 MPa.

5.1.2 Analisa Data Statistik Interval Kepercayaan Kelompok Pengujian

Ke-1

5.1.2.1 Tanpa Lilitan/ Polos

Dengan cara serupa kita dapat mencari interval kepercayaan untuk semua parameter dengan variasi yang sudah ditentukan. Di bawah ini adalah tabel interval kepercayaan untuk penelitian pada kapasitas lentur dengan perlakuan tanpa pengasaran permukaan.

Tabel 5.2. Pengujian Interval Kepercayaan Momen Retak yang Terjadi Pada Benda Uji Tanpa Pengasaran Permukaan

No	Kode Benda Uji	Df (Degrees of freedom)	t _{0,975} pada 0,025	Momen Retak (Mcr)	$\bar{x} - \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	$\bar{x} + \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	Interval Kepercayaan		
1	Polos -1	2	4.30265	411.30	391.860	447.407	391.860	< μ <	447.407
2	Polos -2			436.30					
3	Polos -3			411.30					
Rerata				419.63	-				
Standar deviasi (Sd)				14.43					

Jadi sesuai dengan range interval kepercayaan pada perhitungan di atas, maka data pengujian terhadap momen retak yang terjadi pada benda uji tanpa pengasaran permukaan permukaan adalah memenuhi kelayakan. Pengujian rerata tersebut adalah sebesar 419.63 Nm, nilai tersebut berada diantara batas bawah dan batas atas interval kepercayaan yaitu berturut – turut sebesar 391.860 N.m dan 447.407 N.m.

Tabel 5.3. Pengujian Interval Kepercayaan Momen Maksimum yang Terjadi Pada Benda Uji Tanpa Pengasaran Permukaan

No	Kode Benda Uji	Df (Degrees of freedom)	t _{0,975} pada 0,025	Momen max	$\bar{x} - \left(t^{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	$\bar{x} + \left(t^{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	Interval Kepercayaan		
1	Polos -1	2	4.30265	1386.30	1226.615	1645.985	1226.615	< μ <	1645.985
2	Polos -2			1561.30					
3	Polos -3			1361.30					
Rerata				1436.30	-				
Standar deviasi (Sd)				108.97					

Jadi sesuai dengan range interval kepercayaan pada perhitungan di atas, maka data pengujian terhadap momen maksimum yang terjadi pada benda uji tanpa pengasaran permukaan adalah memenuhi kelayakan. Pengujian rerata tersebut adalah sebesar 1436.30 Nm, nilai tersebut berada diantara batas bawah dan batas atas interval kepercayaan yaitu berturut – turut sebesar 1226.61 N.m dan 1645.99 N.m.

5.1.2.2 Lilitan Full

Dengan cara serupa kita dapat mencari interval kepercayaan untuk semua parameter dengan variasi yang sudah ditentukan. Di bawah ini adalah tabel interval kepercayaan untuk penelitian pada kapasitas lentur dengan perlakuan lilitan pengasaran permukaan penuh sepanjang tulangan (*full*).

Tabel 5.4. Pengujian Interval Kepercayaan Momen Retak yang Terjadi Pada Benda Uji Lilitan Full

No	Kode Benda Uji	Df (Degrees of freedom)	t _{0,975} pada 0,025	Momen Retak (Mcr)	$\bar{x} - \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	$\bar{x} + \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	Interval Kepercayaan		
1	Full -1	2	4.30265	1038.80	744.829	1747.771	744.829	< μ <	1747.771
2	Full -2			1538.80					
3	Full -3			1161.30					
Rerata				1246.30	-				
Standar deviasi (Sd)				260.61					

Jadi sesuai dengan range interval kepercayaan pada perhitungan di atas, maka data pengujian terhadap momen retak yang terjadi pada benda uji dengan lilitan pengasaran permukaan penuh adalah memenuhi kelayakan. Pengujian rerata tersebut adalah sebesar 1246.3 Nm, nilai tersebut berada diantara batas bawah dan batas atas interval kepercayaan yaitu berturut – turut sebesar 744.829 N.m dan 1747.77 N.m.

Tabel 5.5. Pengujian Interval Kepercayaan Momen Maksimum yang Terjadi Pada Benda Uji Lilitan Full

No	Kode Benda Uji	Df (Degrees of freedom)	t _{0.975} pada 0,025	Momen max	$\bar{x} - \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	$\bar{x} + \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	Interval Kepercayaan		
1	Full -1	2	4.30265	3038.80	2997.608	3144.659	2997.61	< μ <	3144.66
2	Full -2			3113.30					
3	Full -3			3061.30					
Rerata				3071.13	-				
Standar deviasi (Sd)				38.21					

Jadi sesuai dengan range interval kepercayaan pada perhitungan di atas, maka data pengujian terhadap momen maksimum yang terjadi pada benda uji dengan lilitan pengasaran permukaan penuh adalah memenuhi kelayakan. Pengujian rerata tersebut adalah sebesar 3071.13 Nm, nilai tersebut berada diantara batas bawah dan batas atas interval kepercayaan yaitu berturut – turut sebesar 2997.61 N.m dan 3144.66 N.m.

5.1.2.3 Lilitan Daerah Ujung – Tengah - Ujung

Dengan cara serupa kita dapat mencari interval kepercayaan untuk semua parameter dengan variasi yang sudah ditentukan. Di bawah ini adalah tabel interval kepercayaan untuk penelitian pada kapasitas lentur dengan perlakuan lilitan pengasaran permukaan daerah ujung – tengah – ujung.

Tabel 5.6. Pengujian Interval Kepercayaan Momen Retak yang Terjadi Pada Benda Uji Lilitan Daerah Ujung – Tengah – Ujung

No	Kode Benda Uji	Df (Degrees of freedom)	t _{0,975} pada 0,025	Momen Retak (Mcr)	$\bar{x} - \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	$\bar{x} + \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	Interval Kepercayaan		
1	U - T - U -1	2	4.30265	1163.80	1015.762	1243.505	1015.762	< μ <	1243.50
2	U - T - U -2			1163.80					
3	U - T - U -3			1061.30					
Rerata				1129.63	-				
Standar deviasi (Sd)				59.18					

Jadi sesuai dengan range interval kepercayaan pada perhitungan di atas, maka data pengujian terhadap momen retak yang terjadi pada benda uji dengan

lilitan pengasaran permukaan daerah ujung – tengah – ujung adalah memenuhi kelayakan. Pengujian rerata tersebut adalah sebesar 1129.63 Nm, nilai tersebut berada diantara batas bawah dan batas atas interval kepercayaan yaitu berturut – turut sebesar 1015.762 N.m dan 1243.50 N.m.

Tabel 5.7. Pengujian Interval Kepercayaan Momen Maksimum yang Terjadi Pada Benda Uji Lilitan Daerah Ujung – Tengah – Ujung

No	Kode Benda Uji	Df (Degrees of fremod)	t _{0,975} pada 0,025	Momen max	$\bar{x} - \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	$\bar{x} + \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	Interval Kepercayaan		
1	U - T - U -1	2	4.30265	2538.80	2230.964	2861.636	2230.96	< μ <	2861.64
2	U - T - U -2			2713.80					
3	U - T - U -3			2386.30					
Rerata				2546.30	-				
Standar deviasi (Sd)				163.88					

Jadi sesuai dengan range interval kepercayaan pada perhitungan di atas, maka data pengujian terhadap momen maksimum yang terjadi pada benda uji dengan lilitan pengasaran permukaan daerah ujung – tengah – ujung adalah memenuhi kelayakan. Pengujian rerata tersebut adalah sebesar 2546.30 Nm, nilai tersebut berada diantara batas bawah dan batas atas interval kepercayaan yaitu berturut – turut sebesar 2230.96 N.m dan 2861.64 N.m.

5.1.2.4 Lilitan Daerah Ujung - Ujung

Dengan cara serupa kita dapat mencari interval kepercayaan untuk semua parameter dengan variasi yang sudah ditentukan. Di bawah ini adalah tabel interval kepercayaan untuk penelitian pada kapasitas lentur dengan perlakuan lilitan pengasaran permukaan daerah ujung – ujung.

Tabel 5.8. Pengujian Interval Kepercayaan Momen Retak yang Terjadi Pada Benda Uji Lilitan Daerah Ujung – Ujung

No	Kode Benda Uji	Df (Degrees of freedom)	t _{0,975} pada 0,025	Momen Retak (Mcr)	$\bar{x} - \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	$\bar{x} + \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	Interval Kepercayaan		
1	U - U -1	2	4.30265	811.30	630.766	908.501	630.766	< μ <	908.50
2	U - U -2			686.30					
3	U - U -3			811.30					
Rerata				769.63	-				
Standar deviasi (Sd)				72.17					

Jadi sesuai dengan range interval kepercayaan pada perhitungan di atas, maka data pengujian terhadap momen retak yang terjadi pada benda uji dengan lilitan pengasaran permukaan daerah ujung – ujung adalah memenuhi kelayakan. Pengujian rerata tersebut adalah sebesar 769.63 Nm, nilai tersebut berada diantara batas bawah dan batas atas interval kepercayaan yaitu berturut – turut sebesar 630.766 N.m dan 908.50 N.m.

Tabel 5.9. Pengujian Interval Kepercayaan Momen Maksimum yang Terjadi Pada Benda Uji Lilitan Daerah Ujung – Ujung

No	Kode Benda Uji	Df (Degrees of freedom)	t _{0,975} pada 0,025	Momen max	$\bar{x} - \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	$\bar{x} + \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	Interval Kepercayaan		
1	U - U -1	2	4.30265	1811.40	1811.222	1811.444	1811.22	< μ <	1811.44
2	U - U -2			1811.30					
3	U - U -3			1811.30					
Rerata				1811.33	-				
Standar deviasi (Sd)				0.06					

Jadi sesuai dengan range interval kepercayaan pada perhitungan di atas, maka data pengujian terhadap momen maksimum yang terjadi pada benda uji dengan lilitan pengasaran permukaan daerah ujung – ujung adalah memenuhi kelayakan. Pengujian rerata tersebut adalah sebesar 1811.33 Nm, nilai tersebut berada diantara batas bawah dan batas atas interval kepercayaan yaitu berturut – turut sebesar 1811.22 N.m dan 1811.44 N.m.

5.1.3 Analisa Data Statistik Interval Kepercayaan Kelompok Pengujian

Ke-2

5.1.3.1 Sambungan Lewatan ke-1 (1.0 x Ld)

Dengan cara serupa kita dapat mencari interval kepercayaan untuk semua parameter dengan variasi yang sudah ditentukan. Di bawah ini adalah tabel interval kepercayaan untuk penelitian pada kapasitas lentur dengan sambungan lewatan (*Lap Splice*) sebesar 1.0 x Ld.

Tabel 5.10. Pengujian Interval Kepercayaan Momen Retak yang Terjadi Pada Benda Uji Lap Splice- 1 (1,0 x Ld)

No	Kode Benda Uji	Df (Degrees of freedom)	$t_{0,975}$ pada 0,025	Momen Retak (Mcr)	$\bar{x} - \left(t^{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	$\bar{x} + \left(t^{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	Interval Kepercayaan		
1	Ls1 (1,0Ld) -1	2	4.30265	1186.30	1097.420	1208.514	1097.420	$< \mu <$	1208.514
2	Ls1 (1,0Ld) -2			1136.30					
3	Ls1 (1,0Ld) -3			1136.30					
Rerata				1152.97	-				
Standar deviasi (Sd)				28.87					

Jadi sesuai dengan range interval kepercayaan pada perhitungan di atas, maka data pengujian terhadap momen retak yang terjadi pada benda uji dengan sambungan lewatan (*Lap Splice*) sebesar 1.0 x Ld adalah memenuhi kelayakan. Pengujian rerata tersebut adalah sebesar 1152.97 Nm, nilai tersebut berada diantara batas bawah dan batas atas interval kepercayaan yaitu berturut – turut sebesar 1097.420 N.m dan 1208.514 N.m.

Tabel 5.11. Pengujian Interval Kepercayaan Momen Maksimum yang Terjadi Pada Benda Uji Lap Splice- 1 (1,0 x Ld)

No	Kode Benda Uji	Df (Degrees of freedom)	t _{0,975} pada 0,025	Momen max	$\bar{x} - \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	$\bar{x} + \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	Interval Kepercayaan		
1	Ls1 (1,0Ld) -1	2	4.30265	2811.30	2254.966	2950.967	2254.97	< μ <	2950.97
2	Ls1 (1,0Ld) -2			2511.30					
3	Ls1 (1,0Ld) -3			2486.30					
Rerata				2602.97	-				
Standar deviasi (Sd)				180.85					

Jadi sesuai dengan range interval kepercayaan pada perhitungan di atas, maka data pengujian terhadap momen maksimum yang terjadi pada benda uji dengan sambungan lewatan (*Lap Splice*) sebesar $1.0 \times L_d$ adalah memenuhi kelayakan. Pengujian rerata tersebut adalah sebesar 2602.97 Nm, nilai tersebut berada diantara batas bawah dan batas atas interval kepercayaan yaitu berturut – turut sebesar 2254.97 N.m dan 2950.97 N.m.

5.1.3.2 Sambungan Lewatan ke-2 ($1.3 \times L_d$)

Dengan cara serupa kita dapat mencari interval kepercayaan untuk semua parameter dengan variasi yang sudah ditentukan. Di bawah ini adalah tabel interval kepercayaan untuk penelitian pada kapasitas lentur dengan dengan sambungan lewatan (*Lap Splice*) sebesar $1.3 \times L_d$.

Tabel 5.12. Pengujian Interval Kepercayaan Momen Retak yang Terjadi Pada Benda Uji Lap Splice- 2 ($1,3 \times L_d$)

No	Kode Benda Uji	Df (Degrees of freedom)	t _{0,975} pada 0,025	Momen Retak (Mcr)	$\bar{x} - \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	$\bar{x} + \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	Interval Kepercayaan		
1	Ls2 (1,3Ld) -1	2	4.30265	1411.30	1266.873	1489.061	1266.873	< μ <	1489.06
2	Ls2 (1,3Ld) -2			1411.30					
3	Ls2 (1,3Ld) -3			1311.30					
Rerata				1377.97	-				
Standar deviasi (Sd)				57.74					

Jadi sesuai dengan range interval kepercayaan pada perhitungan di atas, maka data pengujian terhadap momen retak yang terjadi pada benda uji dengan sambungan lewatan (*Lap Splice*) sebesar $1.3 \times L_d$ adalah memenuhi kelayakan. Pengujian rerata tersebut adalah sebesar 1377.97 Nm, nilai tersebut berada diantara batas bawah dan batas atas interval kepercayaan yaitu berturut – turut sebesar 1266.873 N.m dan 1489.06 N.m.

Tabel 5.13. Pengujian Interval Kepercayaan Momen Maksimum yang Terjadi Pada Benda Uji Lap Splice- 2 (1,3 x Ld)

No	Kode Benda Uji	Df (Degrees of freedom)	t _{0.975} pada 0,025	Momen max	$\bar{x} - \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	$\bar{x} + \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	Interval Kepercayaan		
1	Ls2 (1,3Ld) -1	2	4.30265	2786.30	2180.805	2958.462	2180.80	< μ <	2958.46
2	Ls2 (1,3Ld) -2			2536.30					
3	Ls2 (1,3Ld) -3			2386.30					
Rerata				2569.63	-				
Standar deviasi (Sd)				202.07					

Jadi sesuai dengan range interval kepercayaan pada perhitungan di atas, maka data pengujian terhadap momen maksimum yang terjadi pada benda uji dengan sambungan lewatan (*Lap Splice*) sebesar 1.3 x Ld adalah memenuhi kelayakan. Pengujian rerata tersebut adalah sebesar 2569.63 Nm, nilai tersebut berada diantara batas bawah dan batas atas interval kepercayaan yaitu berturut – turut sebesar 2180.80 N.m dan 2958.46 N.m.

5.1.3.3 Sambungan Lewatan ke-3 (1.7 x Ld)

Dengan cara serupa kita dapat mencari interval kepercayaan untuk semua parameter dengan variasi yang sudah ditentukan. Di bawah ini adalah tabel interval kepercayaan untuk penelitian pada kapasitas lentur dengan dengan sambungan lewatan (*Lap Splice*) sebesar 1.7 x Ld.

Tabel 5.14. Pengujian Interval Kepercayaan Momen Retak yang Terjadi Pada Benda Uji Lap Splice- 3 (1,7 x Ld)

No	Kode Benda Uji	Df (Degrees of freedom)	t _{0,975} pada 0,025	Momen Retak (Mcr)	$\bar{x} - \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	$\bar{x} + \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	Interval Kepercayaan		
1	Ls3 (1,7Ld) -1	2	4.30265	1661.30	1483.539	1705.727	1483.539	< μ <	1705.73
2	Ls3 (1,7Ld) -2			1561.30					
3	Ls3 (1,7Ld) -3			1561.30					
Rerata				1594.63	-				
Standar deviasi (Sd)				57.74					

Jadi sesuai dengan range interval kepercayaan pada perhitungan di atas, maka data pengujian terhadap momen retak yang terjadi pada benda uji dengan

sambungan lewatan (*Lap Splice*) sebesar 1.7 x Ld adalah memenuhi kelayakan. Pengujian rerata tersebut adalah sebesar 1594.63 Nm, nilai tersebut berada diantara batas bawah dan batas atas interval kepercayaan yaitu berturut – turut sebesar 1483.539 N.m dan 1705.73 N.m.

Tabel 5.15. Pengujian Interval Kepercayaan Momen Maksimum yang Terjadi Pada Benda Uji Lap Splice- 3 (1,7 x Ld)

No	Kode Benda Uji	Df (Degrees of fremom)	t _{0,975} pada 0,025	Momen max	$\bar{x} - \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	$\bar{x} + \left(t_{0,975} \cdot \frac{Sd}{\sqrt{n}} \right)$	Interval Kepercayaan		
1	Ls3 (1,7Ld) -1	2	4.30265	2386.30	1960.934	3211.666	1960.93	< μ <	3211.67
2	Ls3 (1,7Ld) -2			2411.30					
3	Ls3 (1,7Ld) -3			2961.30					
Rerata				2586.30	-				
Standar deviasi (Sd)				325.00					

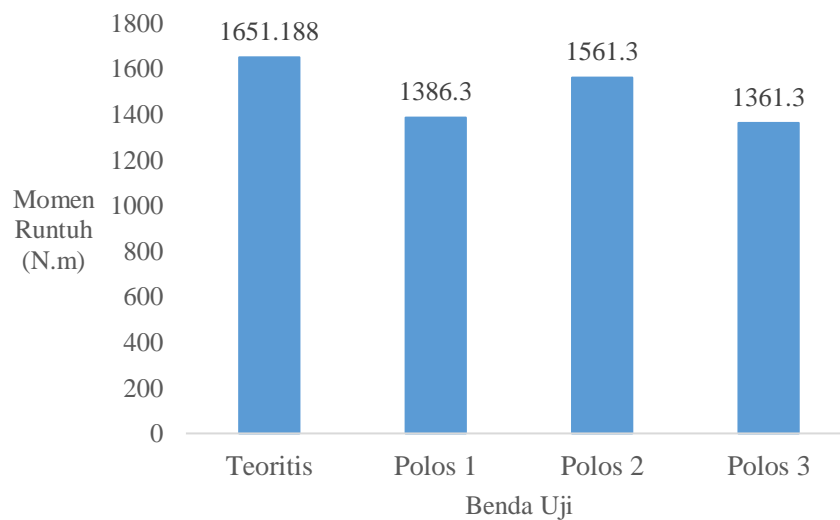
Jadi sesuai dengan range interval kepercayaan pada perhitungan di atas, maka data pengujian terhadap momen maksimum yang terjadi pada benda uji dengan sambungan lewatan (*Lap Splice*) sebesar 1.7 x Ld adalah memenuhi kelayakan. Pengujian rerata tersebut adalah sebesar 2586.30 Nm, nilai tersebut berada diantara batas bawah dan batas atas interval kepercayaan yaitu berturut – turut sebesar 1960.93 N.m dan 3211.67 N.m.

5.2 Pembahasan Data Hasil Penelitian

5.2.1 Kelompok Pengujian Ke-1

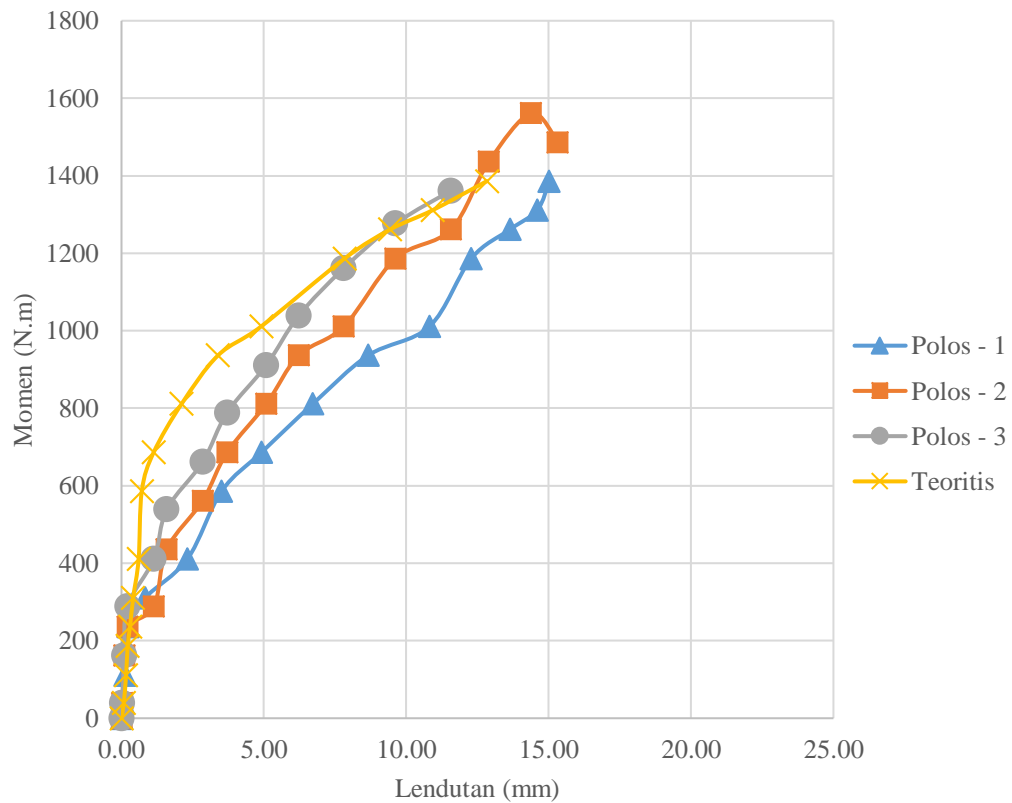
5.2.1.1 Tanpa Lilitan/ Polos

a. Pembahasan Terkait Kapasitas Lentur dan Lendutan



Grafik 4. 1 Diagram Batang Momen Runtuh Balok Benda Uji Polos

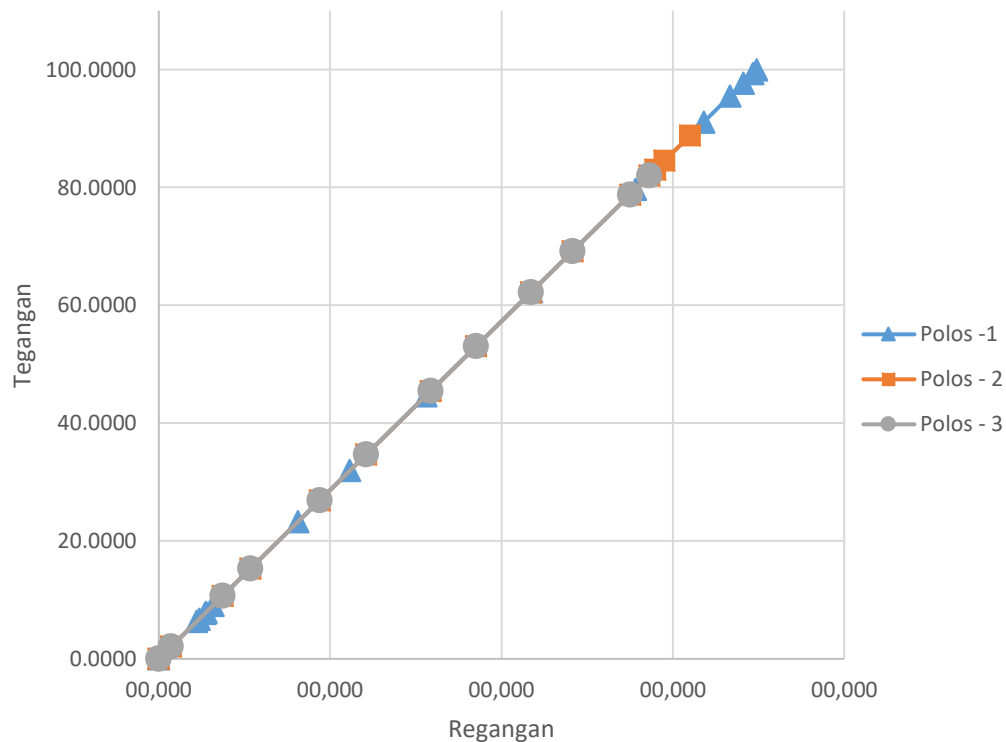
Benda Uji balok bertulang bambu yang memiliki momen runtuh paling tinggi dan mendekati nilai balok teoritsi adalah benda uji polos 2. Balok tipe 2 memiliki persentase momen runtuh sebesar 94,56 % dari balok teoritis. Akan tetapi ketiga jenis benda uji tersebut telah diuji interval kepercayaannya dan memenuhi sehingga jika dirata – rata hasilnya momen runtuh pada benda uji polos adalah 86,99%.



Grafik 4. 2 Hubungan momen - lendutan pengujian dan teoritis benda uji dengan tulangan tanpa pengasaran/ lilitan (polos)

Jika dilihat dari nilai lendutan yang terjadi pada eksperimen terlihat bahwa pada saat sebelum terjadinya retak pertama, lendutan pengujian adalah lebih kecil/ tidak melebihi lendutan teoritis yang ada. Sedangkan setelah terjadinya retak hingga kondisi maksimum didapati hasil bahwa lendutan pengujian terjadi perubahan menjadi lebih besar dibanding dengan lendutan teoritis.

b. Pembahasan Terkait Tegangan dan Regangan

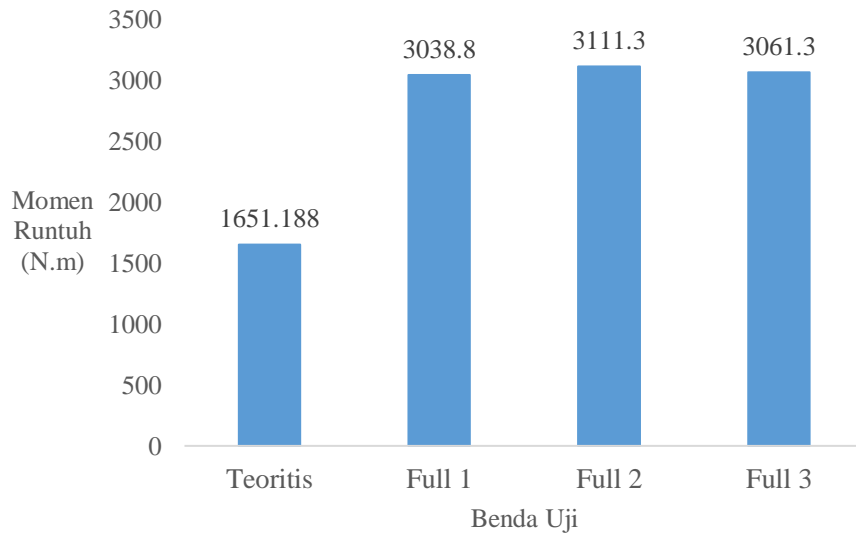


Grafik 4. 3 Hubungan tegangan - regangan pengujian dan teoritis benda uji dengan tulangan tanpa pengasaran/ lilitan (polos)

Dari grafik menunjukkan hubungan garis linear antara tegangan dan regangan pada tulangan bambu. Tegangan didapat dari nilai modulus elastisitas bambu dikalikan nilai regangan tulangan bambu. Jika dilihat dari nilai regangan yang terjadi pada eksperimen terlihat bahwa pada saat sebelum terjadinya retak, adalah 0.0059 atau 0.59%. Sedangkan setelah terjadinya retak hingga kondisi maksimum didapati hasil bahwa regangan pengujian adalah 0.0175 atau 1.75%. Regangan pada bambu ini mendekati dengan persyaratan yang dibatasi pada tulangan baja menurut SNI 03-2847-2013 yaitu sebesar 0.02 atau 2%.

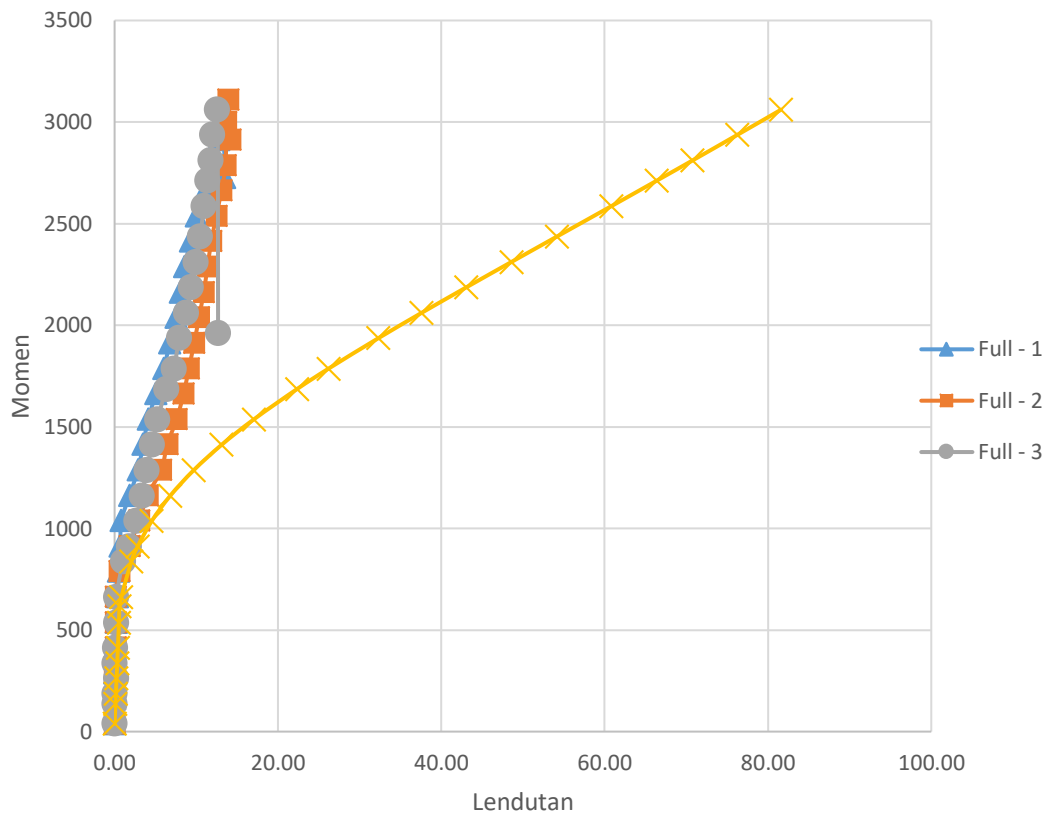
5.2.1.2 Lilitan Full

a. Pembahasan Terkait Kapasitas Lentur dan Lendutan



Grafik 4. 4 Diagram Batang Momen Runtuh Balok Benda Uji Full

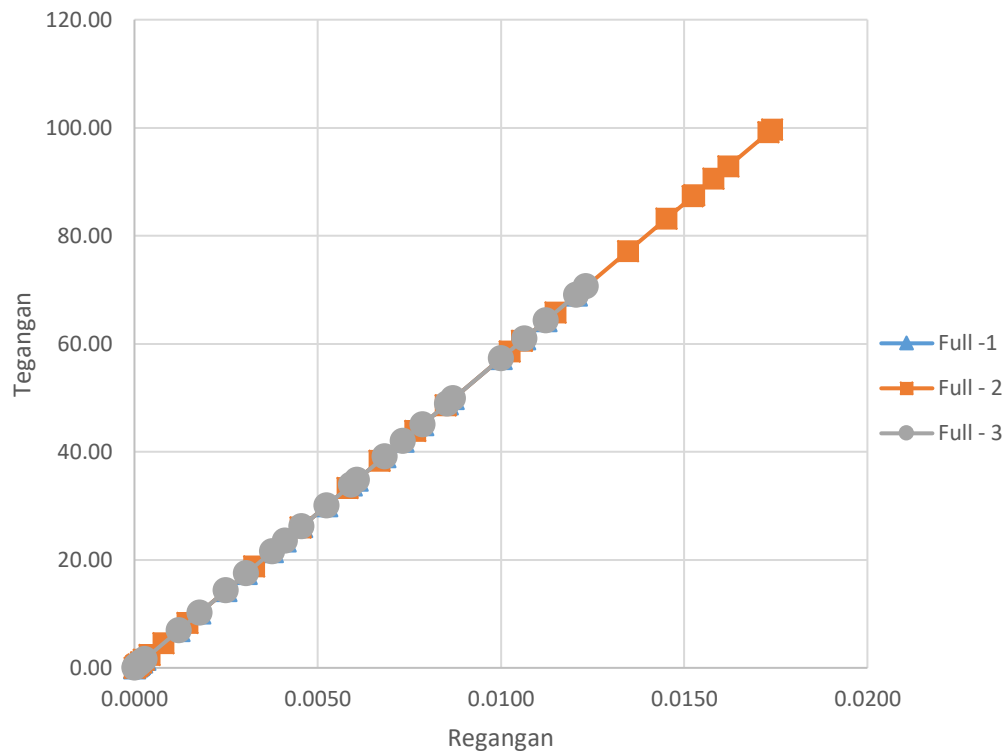
Benda Uji balok bertulang bambu yang memiliki momen runtuh paling tinggi dan mendekati nilai balok teoritis adalah benda uji full 2. Balok full 2 memiliki persentase momen runtuh sebesar 188,43 % dari balok teoritis. Akan tetapi ketiga jenis benda uji tersebut telah diuji interval kepercayaannya dan memenuhi sehingga jika dirata – rata hasilnya momen runtuh pada benda uji lilitan full/ penuh adalah 185,96%. Pada perlakuan ini yaitu dengan menggunakan lilitan kawat sepanjang tulangan didalam balok sehingga adanya perkuatan dari segi momen lentur yang diterima oleh balok.



Grafik 4. 5 Hubungan momen - lendutan pengujian dan teoritis benda uji dengan tulangan lilitan penuh/ full.

Jika dilihat dari nilai lendutan yang terjadi pada eksperimen terlihat bahwa pada saat sebelum terjadinya retak pertama, lendutan pengujian adalah lebih kecil/ tidak melebihi lendutan teoritis yang ada. Sedangkan setelah terjadinya retak hingga kondisi maksimum didapati hasil bahwa lendutan teoritis lebih besar dibanding dengan lendutan yang terjadi. Hal ini disebabkan oleh adanya hubungan antara beban yang bekerja dengan perhitungan lendutan teoritis. Seperti yang diketahui benda uji dengan perlakuan pengasaran permukaan dapat meningkatkan momen lentur yang diterima balok.

b. Pembahasan Terkait Tegangan dan Regangan

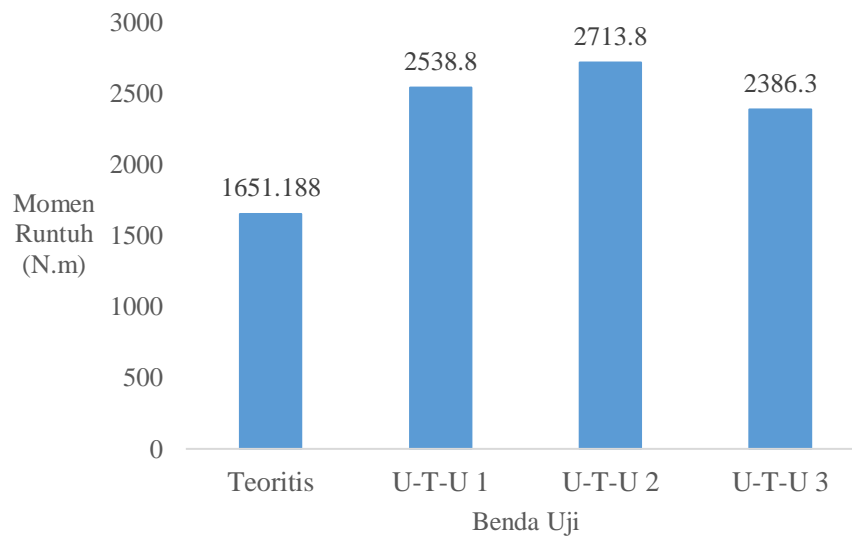


Grafik 4. 6 Hubungan tegangan - regangan pengujian dan teoritis benda uji dengan tulangan lilitan penuh/full.

Dari grafik menunjukkan hubungan garis linear antara tegangan dan regangan pada tulangan bambu. Tegangan didapat dari nilai modulus elastisitas bambu dikalikan nilai regangan tulangan bambu. Jika dilihat dari nilai regangan yang terjadi pada eksperimen terlihat bahwa pada saat sebelum terjadinya retak, adalah 0.0025 atau 0.25%. Sedangkan setelah terjadinya retak hingga kondisi maksimum didapati hasil bahwa regangan pengujian adalah 0.0139 atau 1.39%. Regangan pada bambu ini mendekati dengan persyaratan yang dibatasi pada tulangan baja menurut SNI 03-2847-2013 yaitu sebesar 0.02 atau 2%.

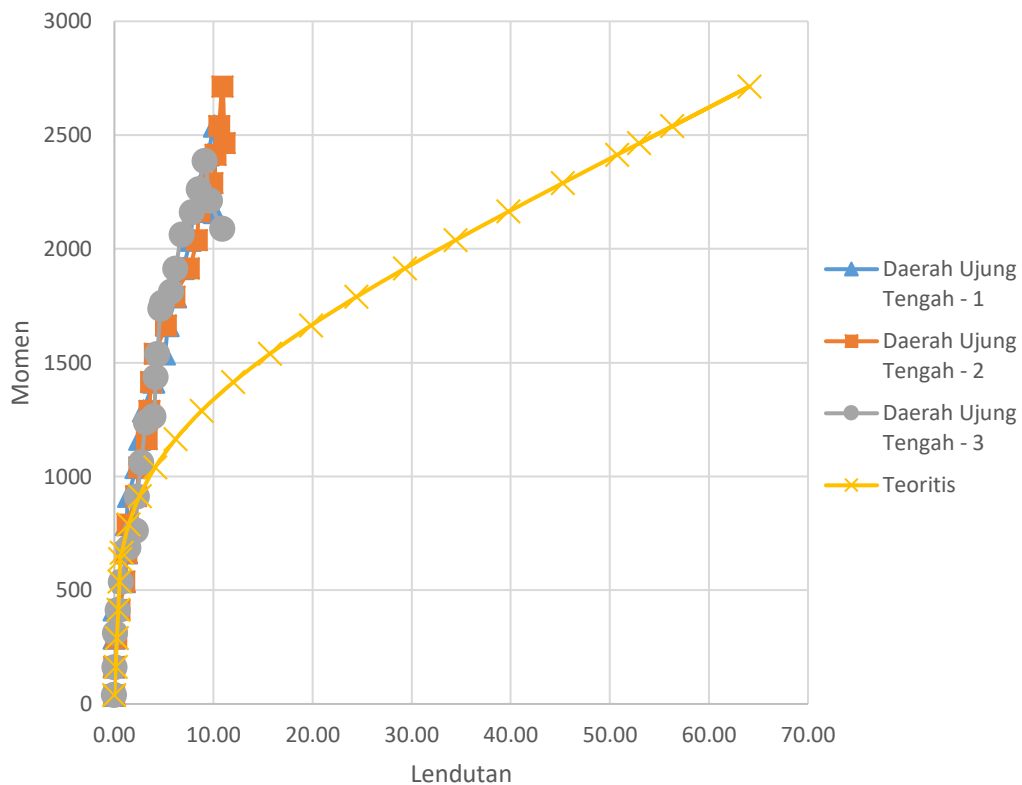
5.2.1.3 Lilitan daerah Ujung – Tengah - Ujung

a. Pembahasan Terkait Kapasitas Lentur dan Lendutan



Grafik 4. 7 Diagram Batang Momen Runtuh Balok Benda Uji Lilitan Daerah Ujung – Tengah - Ujung

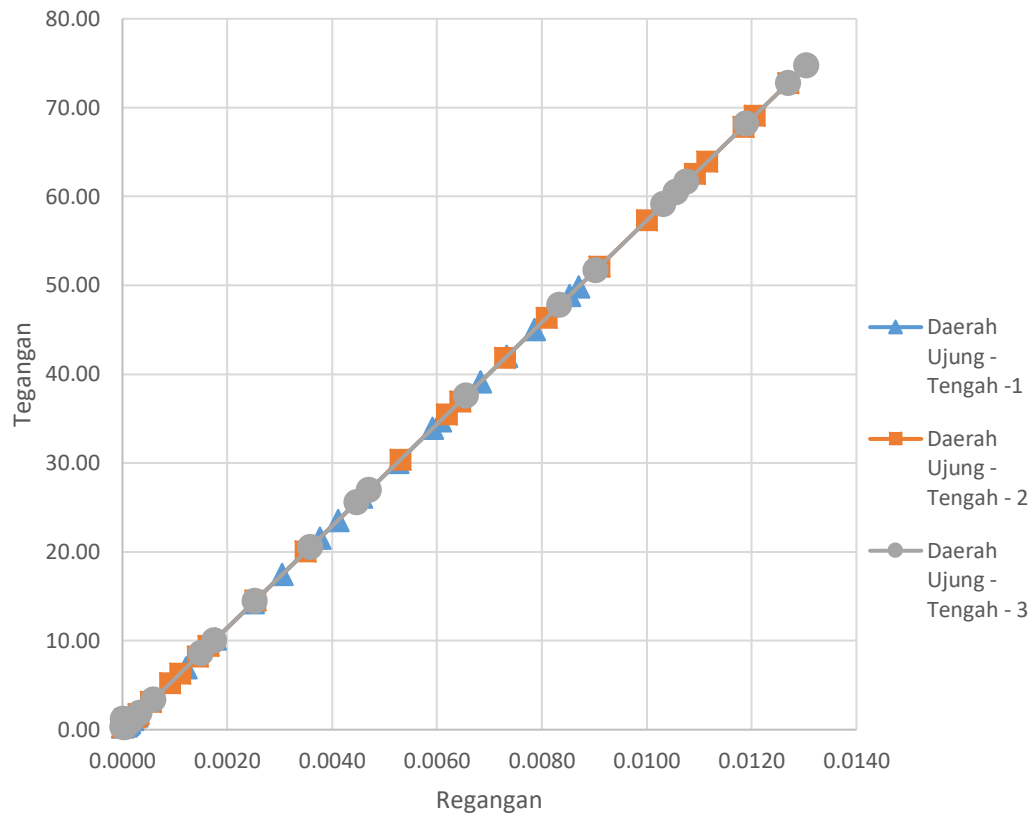
Benda Uji balok bertulang bambu yang memiliki momen runtuh paling tinggi dan mendekati nilai balok teoritis adalah benda uji U – T – U 2. Balok tersebut memiliki persentase momen runtuh sebesar 164,35 % dari balok teoritis. Akan tetapi ketiga jenis benda uji tersebut telah diuji interval kepercayaannya dan memenuhi sehingga jika dirata – rata hasilnya momen runtuh pada benda uji lilitan daerah ujung – tengah - ujung adalah 154,21 %. Pada perlakuan ini yaitu dengan menggunakan lilitan kawat pada daerah ujung dan di daerah tengah dari panjang tulangan didalam balok sehingga adanya perkuatan dari segi momen lentur yang diterima oleh balok.



Grafik 4. 8 Hubungan momen - lendutan pengujian dan teoritis benda uji dengan tulangan lilitan daerah ujung – tengah - ujung.

Jika dilihat dari nilai lendutan yang terjadi pada eksperimen terlihat bahwa pada saat sebelum terjadinya retak pertama, lendutan pengujian adalah lebih kecil/ tidak melebihi lendutan teoritis yang ada. Sedangkan setelah terjadinya retak hingga kondisi maksimum didapati hasil bahwa lendutan teoritis lebih besar dibanding dengan lendutan yang terjadi. Hal ini disebabkan oleh adanya hubungan antara beban yang bekerja dengan perhitungan lendutan teoritis. Seperti yang diketahui benda uji dengan perlakuan pengasaran permukaan dapat meningkatkan momen lentur yang diterima balok.

b. Pembahasan Terkait Tegangan dan Regangan

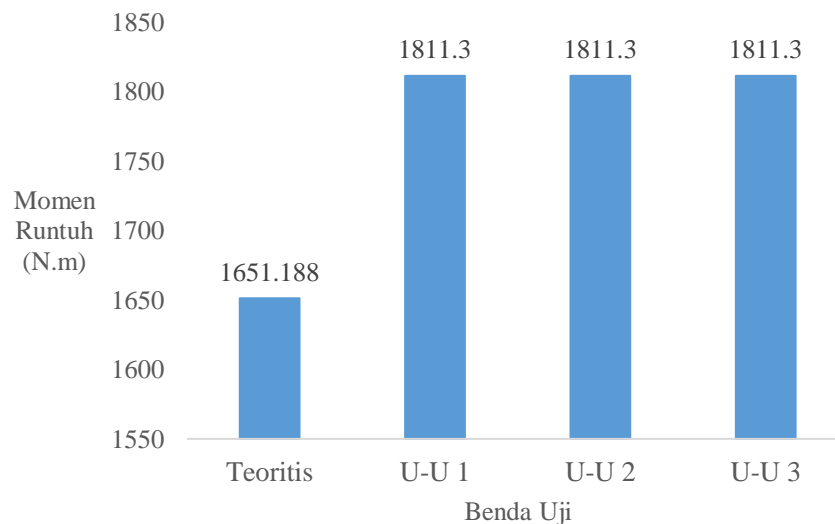


Grafik 4. 9 Hubungan tegangan - regangan pengujian dan teoritis benda uji dengan tulangan lilitan daerah ujung – tengah - ujung.

Dari grafik menunjukkan hubungan garis linear antara tegangan dan regangan pada tulangan bambu. Tegangan didapat dari nilai modulus elastisitas bambu dikalikan nilai regangan tulangan bambu. Jika dilihat dari nilai regangan yang terjadi pada eksperimen terlihat bahwa pada saat sebelum terjadinya retak, adalah 0.0018 atau 0.18%. Sedangkan setelah terjadinya retak hingga kondisi maksimum didapati hasil bahwa regangan pengujian adalah 0.0114 atau 1.14%. Regangan pada bambu ini mendekati dengan persyaratan yang dibatasi pada tulangan baja menurut SNI 03-2847-2013 yaitu sebesar 0.02 atau 2%.

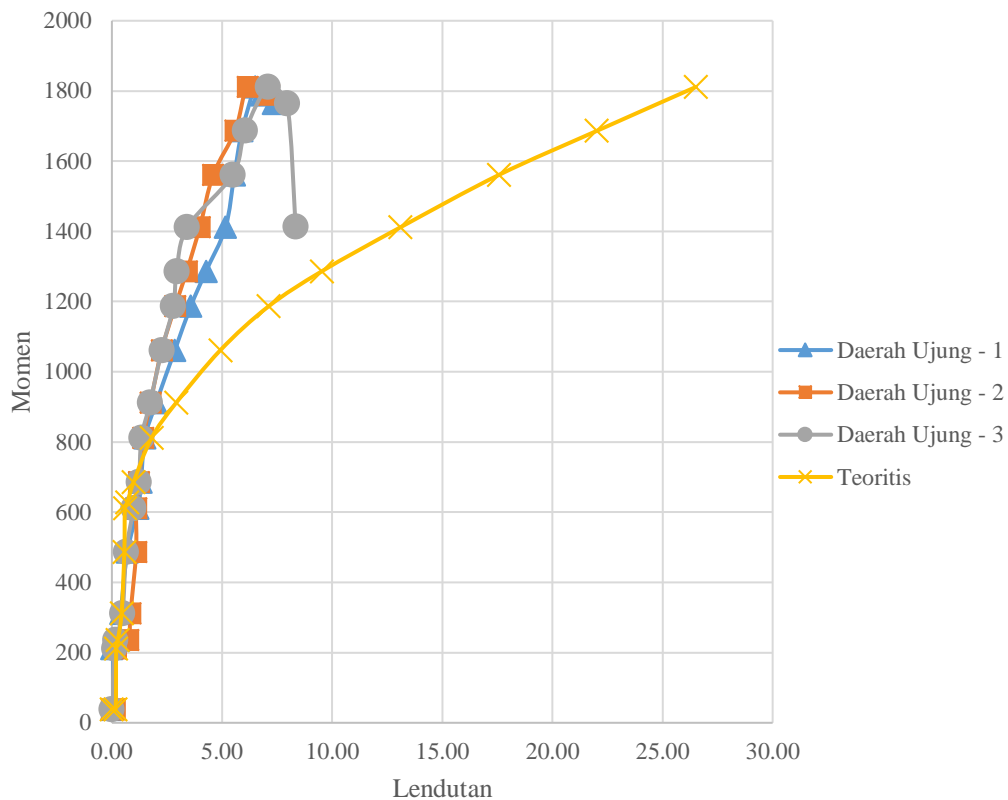
5.2.1.4 Lilitan daerah Ujung - Ujung

a. Pembahasan Terkait Kapasitas Lentur dan Lendutan



Grafik 4. 10 Diagram Batang Momen Runtuh Balok Benda Uji Lilitan Daerah Ujung - Ujung

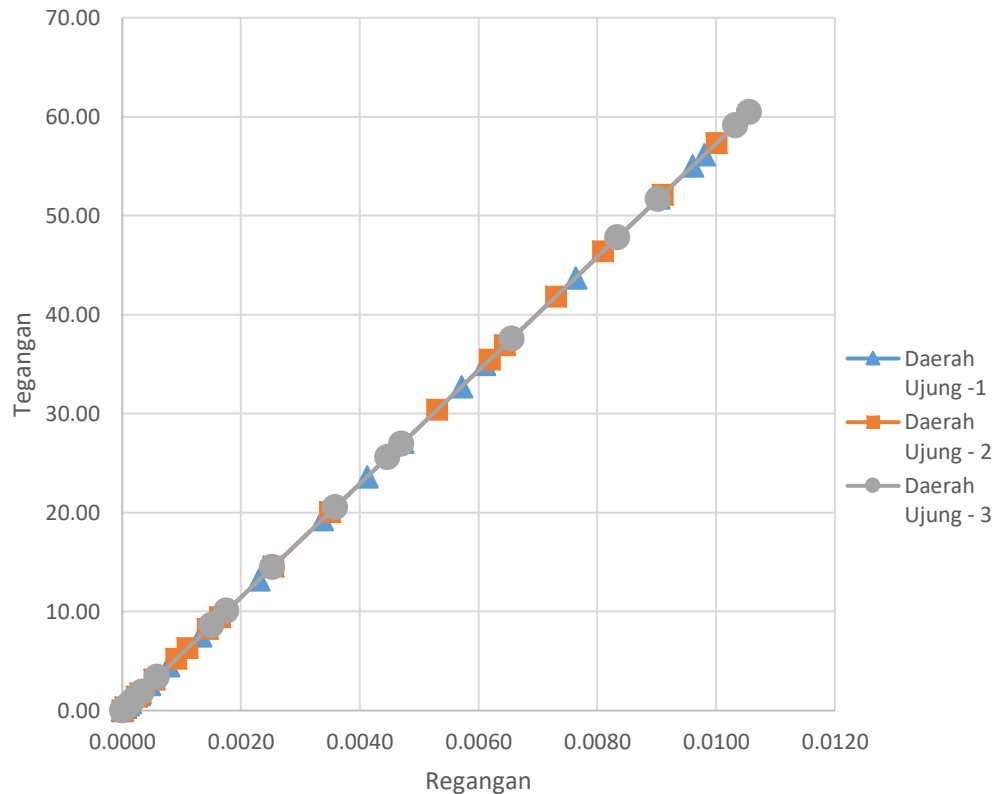
Benda Uji balok bertulang bambu yang memiliki momen runtuh paling tinggi dan mendekati nilai balok teoritis adalah benda uji U – U 1 dan 2. Balok tersebut memiliki persentase momen runtuh sebesar 109,7 % dari balok teoritis. Akan tetapi ketiga jenis benda uji tersebut telah diuji interval kepercayaannya dan memenuhi sehingga jika dirata – rata hasilnya momen runtuh pada benda uji lilitan daerah ujung - ujung adalah 109,7 %. Pada perlakuan ini yaitu dengan menggunakan lilitan kawat pada daerah ujung tulangan didalam balok sehingga adanya perkuatan dari segi momen lentur yang diterima oleh balok.



Grafik 4. 11 Hubungan momen - lendutan pengujian dan teoritis benda uji dengan tulangan lilitan daerah ujung - ujung.

Jika dilihat dari nilai lendutan yang terjadi pada eksperimen terlihat bahwa pada saat sebelum terjadinya retak pertama, lendutan pengujian adalah lebih kecil/ tidak melebihi lendutan teoritis yang ada. Sedangkan setelah terjadinya retak hingga kondisi maksimum didapati hasil bahwa lendutan teoritis lebih besar dibanding dengan lendutan yang terjadi. Hal ini disebabkan oleh adanya hubungan antara beban yang bekerja dengan perhitungan lendutan teoritis. Seperti yang diketahui benda uji dengan perlakuan pengasaran permukaan dapat meningkatkan momen lentur yang diterima balok.

b. Pembahasan Terkait Tegangan dan Regangan



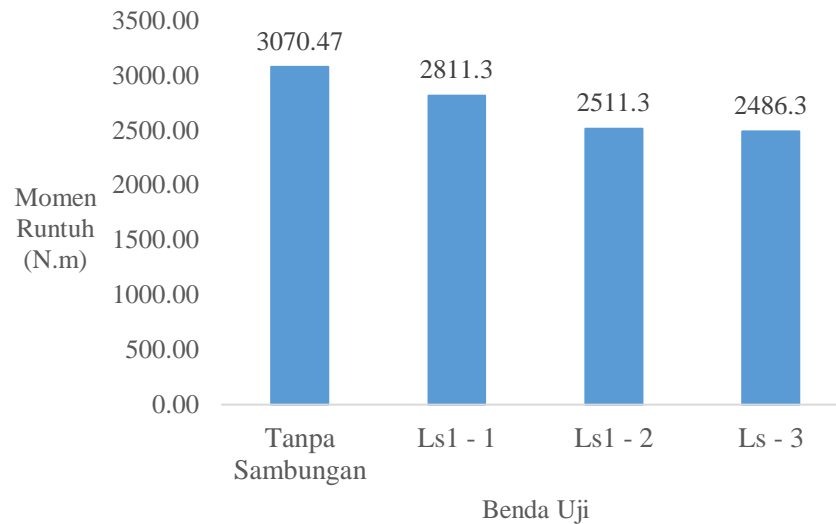
Grafik 4. 12 Hubungan tegangan - regangan pengujian dan teoritis benda uji dengan tulangan lilitan daerah ujung - ujung.

Jika dilihat dari nilai regangan yang terjadi pada eksperimen terlihat bahwa pada saat sebelum terjadinya retak pertama, regangan dari tulangan bambu adalah 0.0014 atau 0.14% dari panjang semula. Sedangkan setelah terjadinya retak hingga kondisi maksimum didapati hasil bahwa regangan pengujian adalah 0.0101 atau 1.01%. Regangan pada bambu ini mendekati dengan persyaratan yang dibatasi pada tulangan baja menurut SNI 03-2847-2013 yaitu sebesar 0.02 atau 2%.

5.2.2 Kelompok Pengujian Ke-2

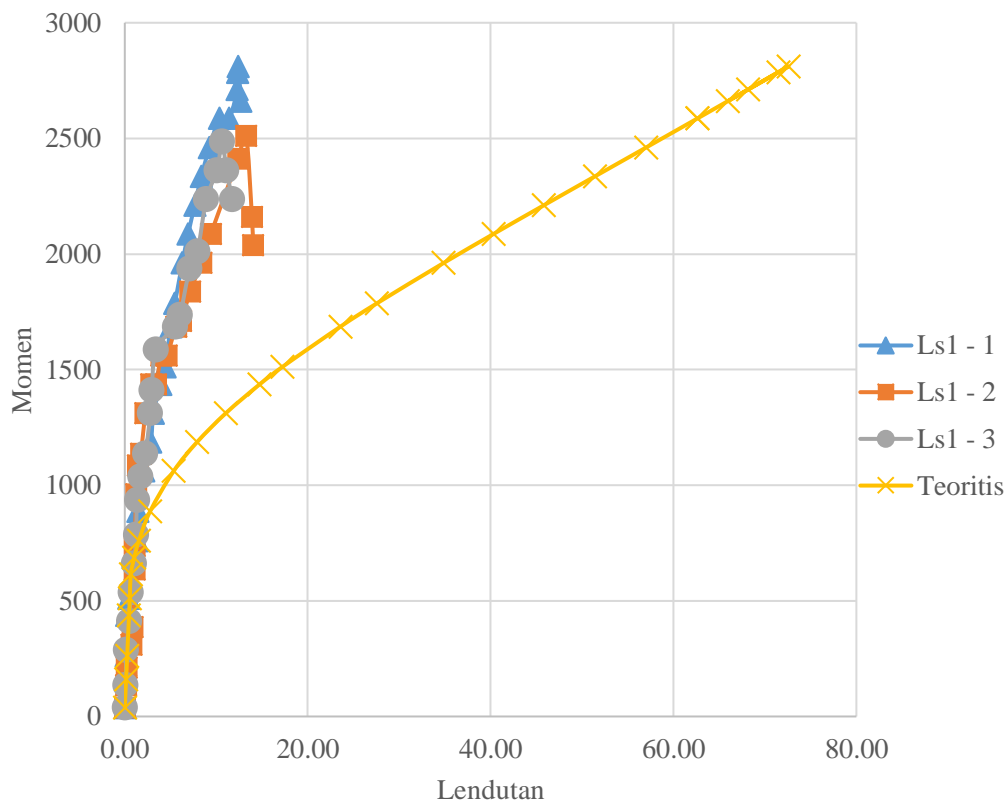
5.2.2.1 Sambungan Lewatan ke-1 (*Lap Splice 1*)

a. Pembahasan Terkait Kapasitas Lentur dan Lendutan



Grafik 4. 13 Diagram Batang Momen Runtuh Balok Benda Uji Dengan Sambungan Lewatan 1,0 Ld

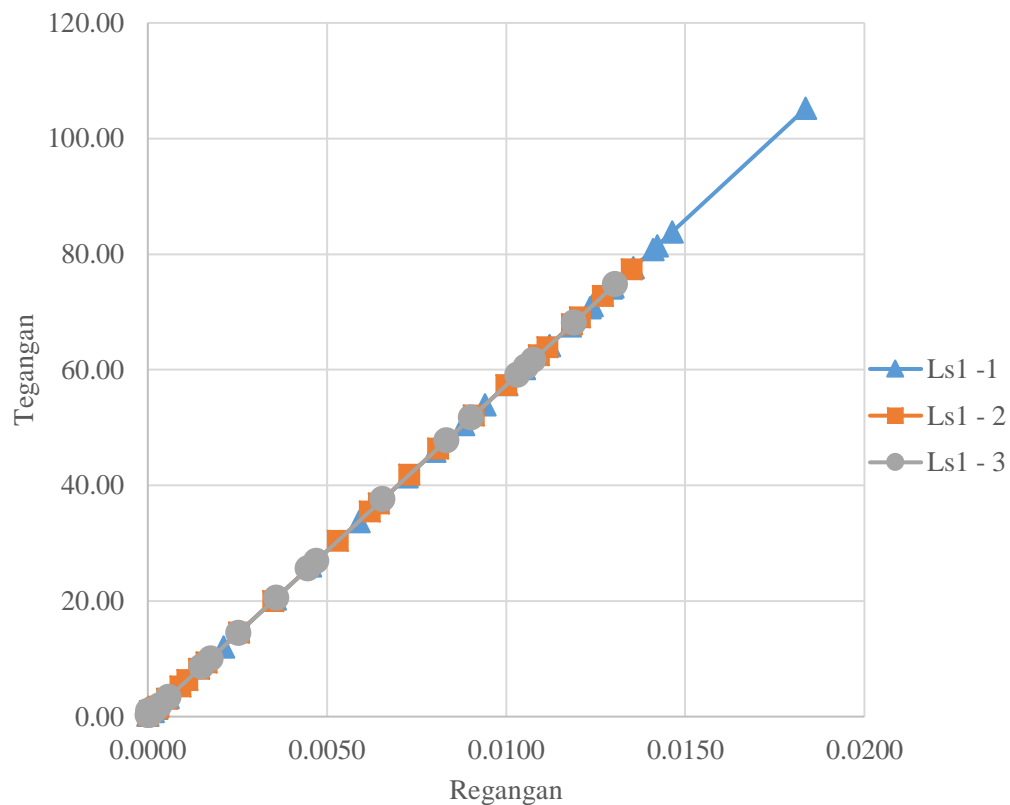
Benda Uji balok bertulang bambu yang memiliki momen runtuh paling tinggi dan mendekati nilai balok teoritis adalah benda uji Ls1 -1. Balok tersebut memiliki persentase momen runtuh sebesar 91,56 % dari balok dengan tanpa adanya sambungan lewatan tulangan. Akan tetapi ketiga jenis benda uji tersebut telah diuji interval kepercayaannya dan memenuhi sehingga jika dirata – rata hasilnya momen runtuh pada benda uji sambungan lewatan 1,0 ld adalah 84,77 %. Pada perlakuan ini membuktikan bahwa sambungan lewatan pada tulangan tipe 1 ($1,0 \times l_d = 8,9 \text{ cm}$) terjadinya nilai reduksi pada kapasitas lentur dengan tanpa adanya sambungan lewatan, akan tetapi nilai tersebut masih dinilai aman dikarenakan masih diatas nilai kapasitas lentur dari balok teoritis yaitu 157,64%.



Grafik 4. 14 Hubungan momen - lendutan pengujian dan teoritis benda uji dengan sambungan lewatan 1,0 Ld

Jika dilihat dari nilai lendutan yang terjadi pada eksperimen terlihat bahwa pada saat sebelum terjadinya retak pertama, lendutan pengujian adalah lebih kecil/ tidak melebihi lendutan teoritis yang ada. Sedangkan setelah terjadinya retak hingga kondisi maksimum didapati hasil bahwa lendutan teoritis lebih besar dibanding dengan lendutan yang terjadi. Hal ini disebabkan oleh adanya hubungan antara beban yang bekerja dengan perhitungan lendutan teoritis. Seperti yang diketahui benda uji dengan perlakuan pengasaran permukaan dapat meningkatkan momen lentur yang diterima balok.

b. Pembahasan Terkait Tegangan dan Regangan

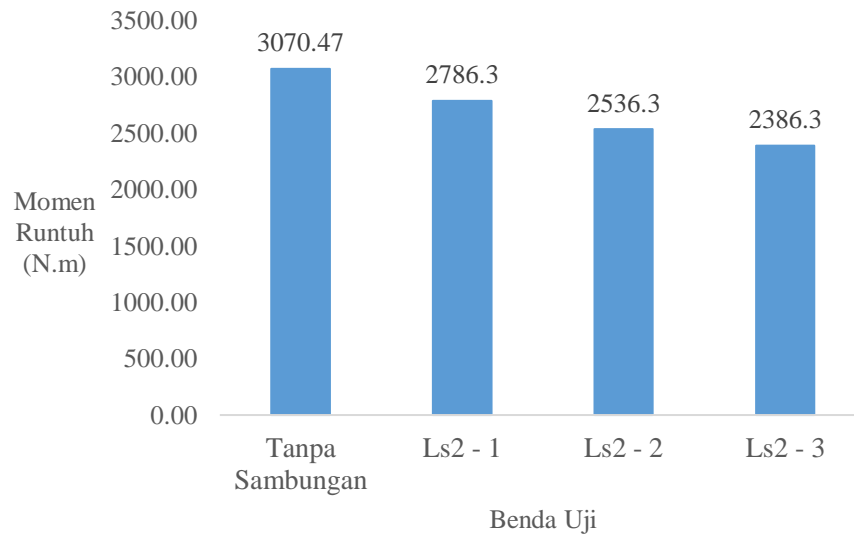


Grafik 4. 15 Hubungan tegangan - regangan pengujian dan teoritis benda uji dengan sambungan lewatan 1,0 Ld

Jika dilihat dari nilai regangan yang terjadi pada eksperimen terlihat bahwa pada saat sebelum terjadinya retak pertama, regangan dari tulangan bambu adalah 0.0041 atau 0.41% dari panjang semula. Sedangkan setelah terjadinya retak hingga kondisi maksimum didapati hasil bahwa regangan pengujian adalah 0.0150 atau 1.50%. Regangan pada bambu ini mendekati dengan persyaratan yang dibatasi pada tulangan baja menurut SNI 03-2847-2013 yaitu sebesar 0.02 atau 2%.

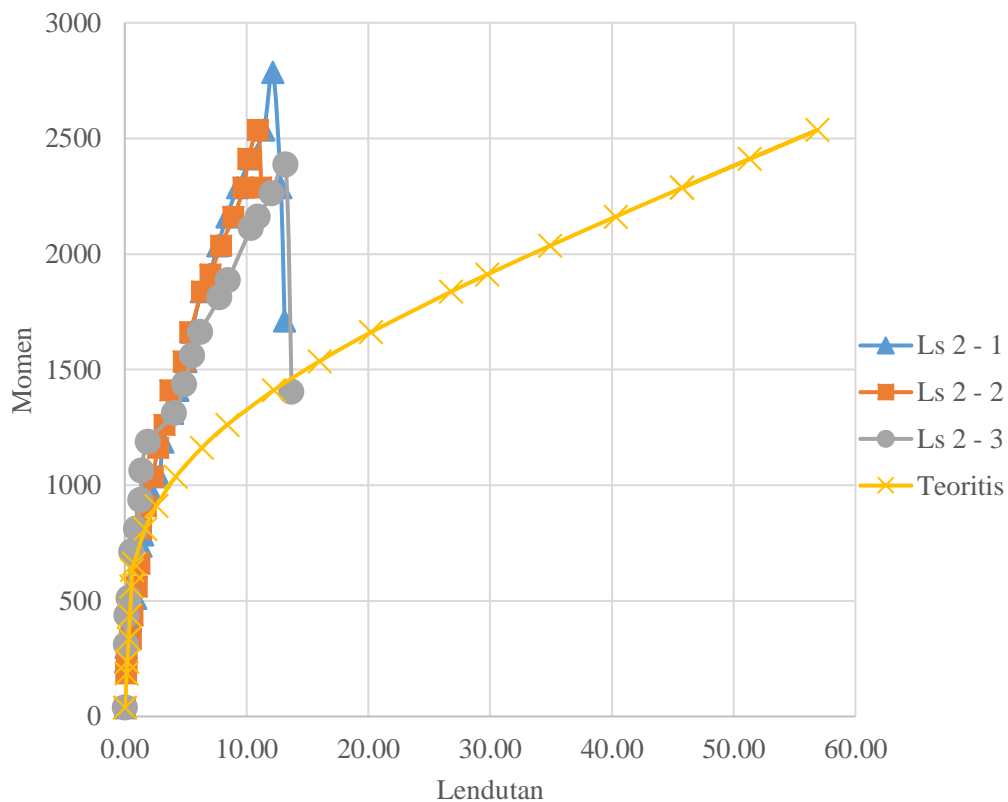
5.2.2.2 Sambungan Lewatan ke-2 (*Lap Splice 2*)

a. Pembahasan Terkait Kapasitas Lentur dan Lendutan



Grafik 4. 16 Diagram Batang Momen Runtuh Balok Benda Uji Dengan Sambungan Lewatan 1,3 Ld

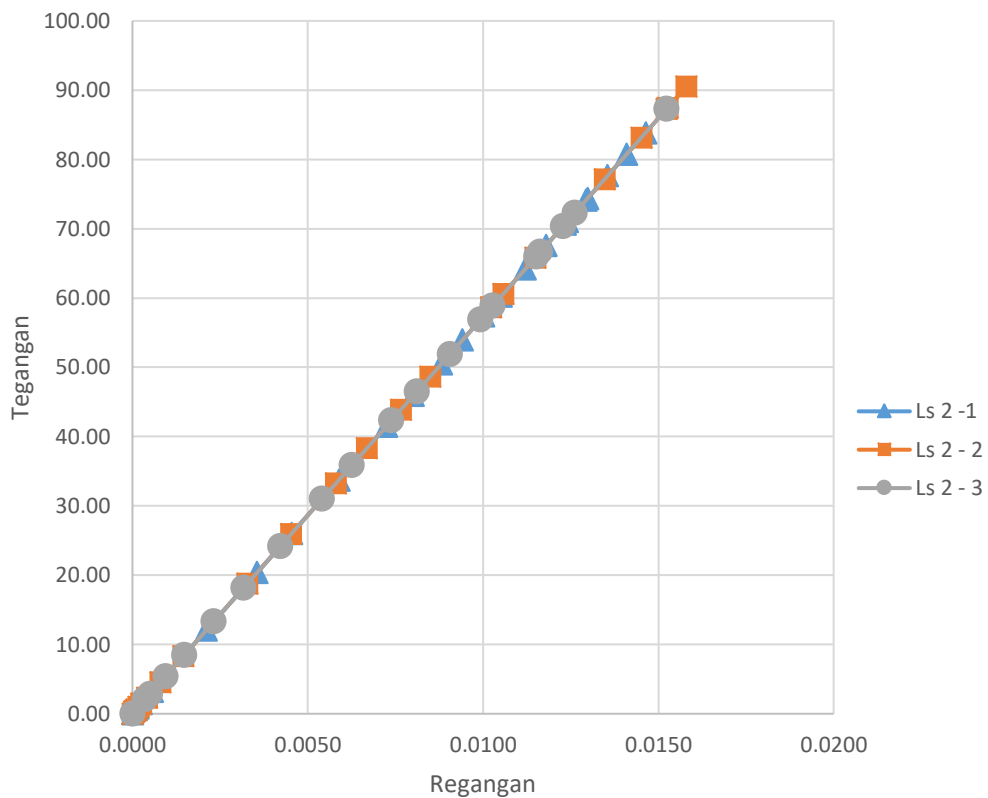
Benda Uji balok bertulang bambu yang memiliki momen runtuh paling tinggi dan mendekati nilai balok teoritis adalah benda uji Ls2 -1. Balok tersebut memiliki persentase momen runtuh sebesar 90,75 % dari balok dengan tanpa adanya sambungan lewatan tulangan. Akan tetapi ketiga jenis benda uji tersebut telah diuji interval kepercayaannya dan memenuhi sehingga jika dirata – rata hasilnya momen runtuh pada benda uji sambungan lewatan 1,3 ld adalah 83,69 %. Pada perlakuan ini membuktikan bahwa sambungan lewatan pada tulangan tipe 1 ($1,0 \times l_d = 11,6 \text{ cm}$) terjadinya nilai reduksi pada kapasitas lentur dengan tanpa adanya sambungan lewatan, akan tetapi nilai tersebut masih dinilai aman dikarenakan masih diatas nilai kapasitas lentur dari balok teoritis yaitu 155,62%.



Grafik 4. 17 Hubungan momen - lendutan pengujian dan teoritis benda uji dengan sambungan lewatan 1,3 Ld

Jika dilihat dari nilai lendutan yang terjadi pada eksperimen terlihat bahwa pada saat sebelum terjadinya retak pertama, lendutan pengujian adalah lebih kecil/ tidak melebihi lendutan teoritis yang ada. Sedangkan setelah terjadinya retak hingga kondisi maksimum didapati hasil bahwa lendutan teoritis lebih besar dibanding dengan lendutan yang terjadi. Hal ini disebabkan oleh adanya hubungan antara beban yang bekerja dengan perhitungan lendutan teoritis. Seperti yang diketahui benda uji dengan perlakuan pengasaran permukaan dapat meningkatkan momen lentur yang diterima balok.

b. Pembahasan Terkait Tegangan dan Regangan

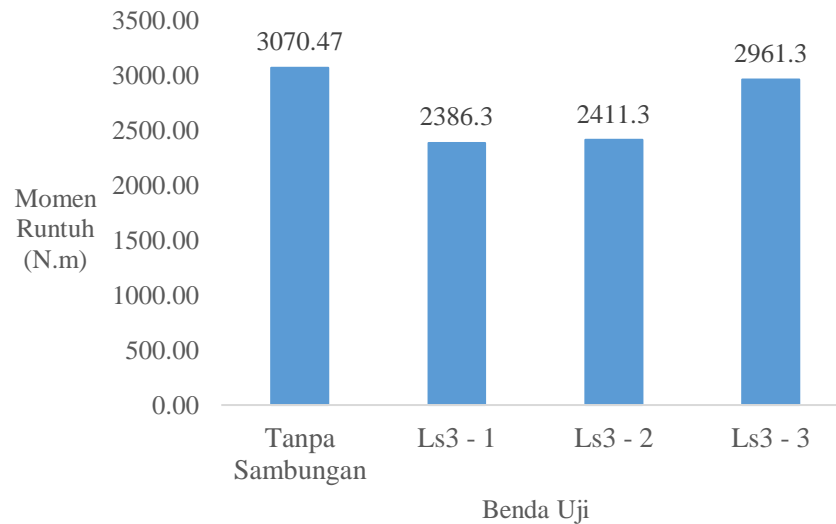


Grafik 4. 18 Hubungan tegangan - regangan pengujian dan teoritis benda uji dengan sambungan lewatan 1,3 Ld

Jika dilihat dari nilai regangan yang terjadi pada eksperimen terlihat bahwa pada saat sebelum terjadinya retak pertama, regangan dari tulangan bambu adalah 0.0076 atau 0.76% dari panjang semula. Sedangkan setelah terjadinya retak hingga kondisi maksimum didapati hasil bahwa regangan pengujian adalah 0.0165 atau 1.65%. Regangan pada bambu ini mendekati dengan persyaratan yang dibatasi pada tulangan baja menurut SNI 03-2847-2013 yaitu sebesar 0.02 atau 2%.

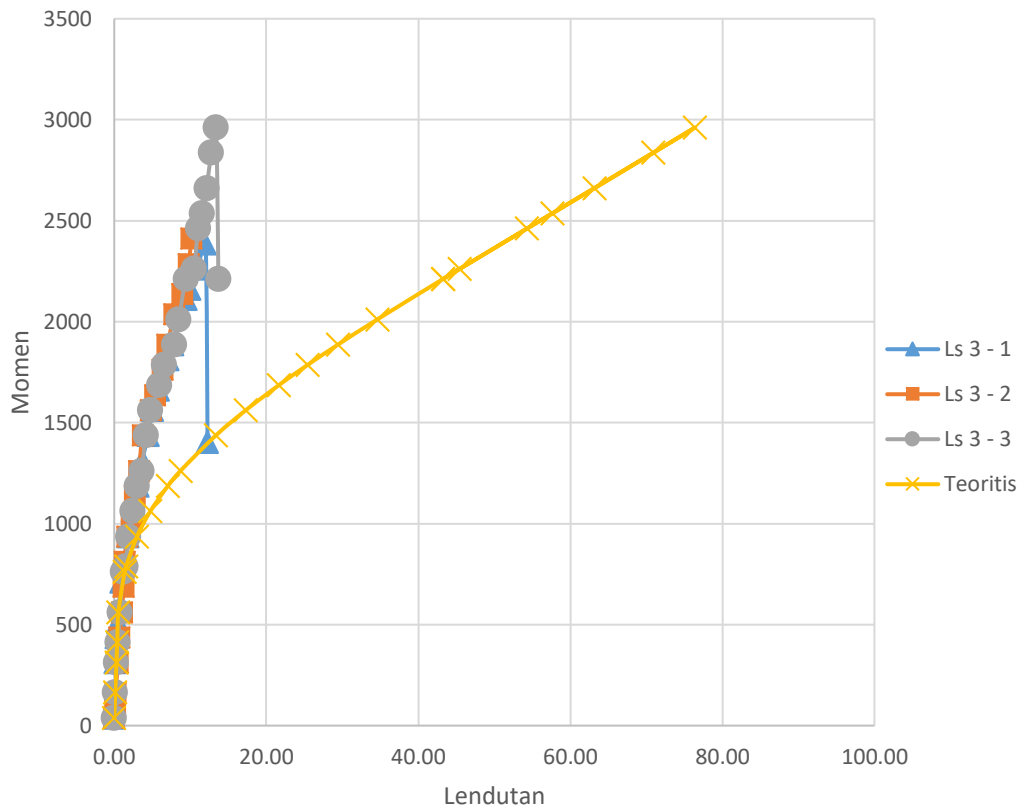
5.2.2.3 Sambungan Lewatan ke-3 (*Lap Splice 3*)

a. Pembahasan Terkait Kapasitas Lentur dan Lendutan



Grafik 4. 19 Diagram Batang Momen Runtuh Balok Benda Uji Dengan Sambungan Lewatan 1,7 Ld

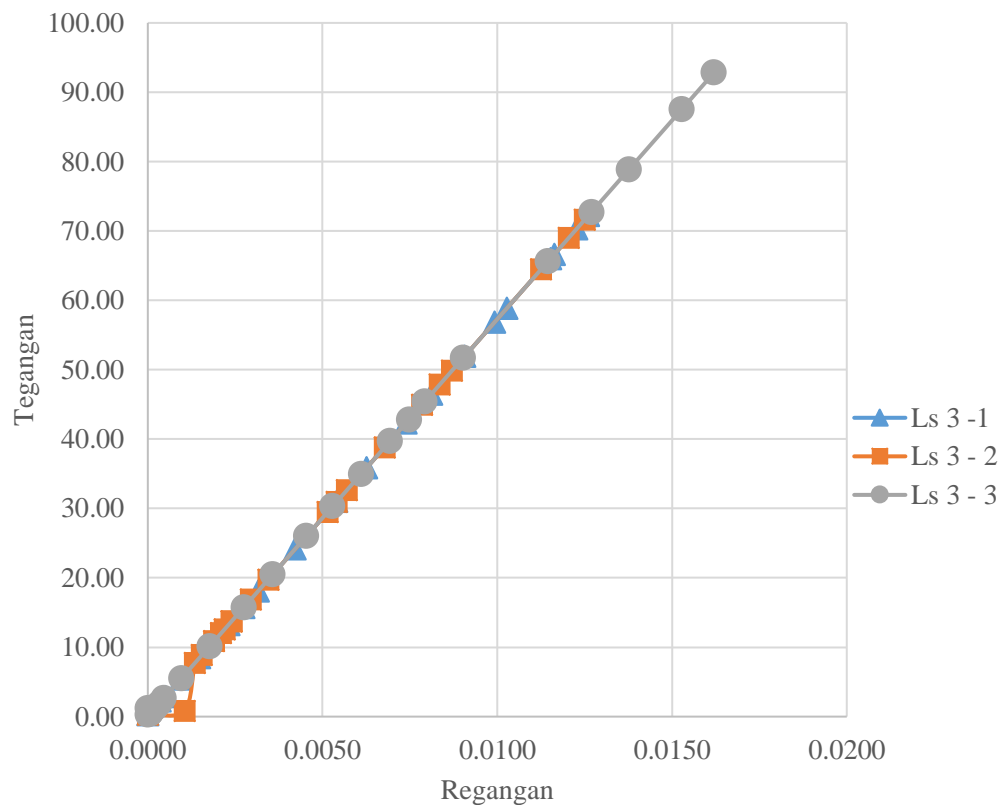
Benda Uji balok bertulang bambu yang memiliki momen runtuh paling tinggi dan mendekati nilai balok teoritis adalah benda uji Ls3 -3. Balok tersebut memiliki persentase momen runtuh sebesar 96,44 % dari balok dengan tanpa adanya sambungan lewatan tulangan. Akan tetapi ketiga jenis benda uji tersebut telah diuji interval kepercayaannya dan memenuhi sehingga jika dirata – rata hasilnya momen runtuh pada benda uji sambungan lewatan 1,7 ld adalah 84,23 %. Pada perlakuan ini membuktikan bahwa sambungan lewatan pada tulangan tipe 1 ($1,0 \times l_d = 11,6 \text{ cm}$) terjadinya nilai reduksi pada kapasitas lentur dengan tanpa adanya sambungan lewatan, akan tetapi nilai tersebut masih dinilai aman dikarenakan masih diatas nilai kapasitas lentur dari balok teoritis yaitu 156,63 %.



Grafik 4. 20 Hubungan momen - lendutan pengujian dan teoritis benda uji dengan sambungan lewatan 1,7 Ld

Jika dilihat dari nilai lendutan yang terjadi pada eksperimen terlihat bahwa pada saat sebelum terjadinya retak pertama, lendutan pengujian adalah lebih kecil/ tidak melebihi lendutan teoritis yang ada. Sedangkan setelah terjadinya retak hingga kondisi maksimum didapati hasil bahwa lendutan teoritis lebih besar dibanding dengan lendutan yang terjadi. Hal ini disebabkan oleh adanya hubungan antara beban yang bekerja dengan perhitungan lendutan teoritis. Seperti yang diketahui benda uji dengan perlakuan pengasaran permukaan dapat meningkatkan momen lentur yang diterima balok.

b. Pembahasan Terkait Tegangan dan Regangan



Grafik 4. 21 Hubungan tegangan - regangan pengujian dan teoritis benda uji dengan sambungan lewatan 1,7 Ld

Jika dilihat dari nilai regangan yang terjadi pada eksperimen terlihat bahwa pada saat sebelum terjadinya retak pertama, regangan dari tulangan bambu adalah 0.0057 atau 0.57% dari panjang semula. Sedangkan setelah terjadinya retak hingga kondisi maksimum didapati hasil bahwa regangan pengujian adalah 0.0138 atau 1.38%. Regangan pada bambu ini mendekati dengan persyaratan yang dibatasi pada tulangan baja menurut SNI 03-2847-2013 yaitu sebesar 0.02 atau 2%.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Pada penelitian kelompok pertama didapatkan hasil bahwa penggunaan lilitan kawat dengan diameter 1,2 mm dengan jarak spasi 3 mm dapat meningkatkan kapasitas lentur dari elemen balok bertulangan bambu. Dari hasil pengujian didapatkan perbandingan nilai momen lentur balok eksperimen dengan teoritis pada lilitan penuh sepanjang tulangan adalah sebesar 185,96%, pada daerah ujung dan tengah tulangan adalah 154,21% dan pada daerah ujung tulangan adalah 109,7%. Sedangkan pada penelitian kelompok kedua yaitu didapatkan hasil bahwa penggunaan sambungan lewatan pada bambu terjadinya penurunan kapasitas lentur yang nilainya bervariasi pada tiap kelas sambungan lewatannya (*lap splice*). Dari hasil pengujian didapatkan perbandingan nilai momen lentur balok dengan sambungan lewatan dengan tanpa sambungan lewatan dengan nilai lewatan $1,0 \times l_d$ adalah 84,77%, untuk $1,3 \times l_d$ adalah 83,69% dan 84,23%.
2. Pada penelitian kelompok pertama dan kedua didapatkan hasil bahwa perlakuan pengasaran dengan menggunakan lilitan kawat dapat mengurangi adanya kenaikan regangan khususnya pada daerah lilitan tersebut. Hal ini

dikarenakan fungsi lain dari lilitan kawat yaitu dapat mengurangi terjadinya slip/ geser antara tulangan dan beton disekelilingnya.

3. Pada penelitian kelompok pertama dan kedua didapatkan hasil bahwa perlakuan pengasaran dengan menggunakan lilitan kawat dapat mengurangi lendutan yang terjadi pada elemen balok, khususnya pada daerah dimana terdapat lilitan tersebut. Dalam pengujian ini didapatkan nilai lendutan yang lebih kecil dibandingkan dengan teoritis. Hal ini cukup baik mengingat salah satu faktor dari kekuatan lentur balok yaitu lendutan, sehingga dengan lendutan yang kecil pada elemen bertulangan bambu lilitan kawat akan meningkatkan kapasitas lenturnya dibandingkan dengan teoritis tanpa lilitan kawat.

6.2. Saran

1. Perlu adanya pengamatan nilai regangan pada alat *strain gauge* dan juga nilai lendutan pada alat *dial gauge* atau alat digital di beberapa titik peninjauan di sepanjang elemen balok.
2. Perlu adanya pengamatan terhadap pola retak yang terjadi pada elemen balok dengan perekaman menggunakan alat digital sehingga didapatkan hasil yang lebih akurat perinterval pemberian beban. Hal ini kaitannya dengan menganalisa pola keruntuhan dan lendutan yang terjadi.
3. Perlu adanya suatu pemantapan terkait dengan produksi secara industri bentuk tulangan bambu dengan lilitan kawat sebagai upaya untuk meringankan biaya produksi dan efektivitas pengerjaan. Selain itu juga

untuk meningkatkan ketelitian dari spesifikasi lilitan kawat yang digunakan pada tulangan bambu.

4. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait penggunaan tulangan bambu dengan lilitan kawat pada elemen konstruksi lainnya seperti pelat dan kolom.
5. Apabila kita menggunakan sengkang yang lebih besar dari teoritis maka akan didapatkan hasil lendutan yang terjadi lebih besar dari lendutan teoritis dan regangan yang terjadi juga lebih besar dari regangan yang dikehendaki dengan nilai daktilitas yang rendah. Sedangkan bila kita menggunakan sengkang yang sesuai dengan rumusan SNI maka akan didapatkan lendutan mendekati nilai lendutan teoritis dan daktilitas yang cukup besar yaitu 5, bila kita ingin menaikkan daktilitas maka sengkang harus diperhitungkan lagi.
6. Perlu adanya sebuah formulasi/ rumus pendekatan sebagai acuan dalam merencanakan (teoritis) konstruksi beton bertulang dengan menggunakan tulangan yang diberi pengasaran lilitan kawat. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan efektifitas dan efisiensi dalam merencanakan beton bertulang tersebut.
7. Perlu penyelidikan lebih lanjut untuk variasi pengasaran permukaan yang lain, maupun kombinasi dari beberapa perlakuan untuk mendapatkan nilai lekatan yang tinggi dengan harga yang lebih murah,
8. Perlu penyelidikan dan penyederhanaan dalam pelaksanaannya sehingga layak dan mudah diterapkan pada konstruksi beton bertulang dilapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim (1990). *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton* (SNI 1974-1990), Badan Standarisasi Nasional
- Anonim (2002). ACI COMMITTEE 318, *Building Code Requirements For Structural Concrete (ACI 318-02) And Commentary (ACI 318R-02)*. American Concrete Institute , 2002
- Anonim (2005). ACI Committee 318, *Building Code Requirements for reinforced Concrete (ACI 318M-05)*, American Concrete Intitute, 2005
- Anonim (2013). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung* (SNI 2847-2013), Badan Standarisasi Nasional
- Adom-Asomoah Mark, Afrifa Owusu Russell., *A Comparative study of Bamboo reinforced concreate beams using different stirup materials fo rural konstruktion* International Journal of Civil and Stuctural Engineering vol 2, no 1, 2011
- Almeida, *Bond Between Reinforcing Steel and High Strength Concrete*, 4th International Symposium on Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete, Paris, 1996
- Arpit Sethia, Vijay Baradiya, *Experimental Investigation on Behavior of Bamboo Reinforced Concrete Member*, IJRET International Journal fo Research in Engineering and Technology, vol 3, 2014
- E. A. Hansen, E. Thorenfeldt, *Bond Between Reinforcing Steel and High Strength Concrete*, 4th International Symposium on Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete, Paris, 1996
- Ghavami Khosrow, *Bamboo as Reinforcement in Structural Concreate Element*, Cement and Concrete Composites 27 (2005) 637-649, 2004
- Jigar K.Sevalia, Nirav B Siddhpura, Cetan S. Agrawal, Deep B. Shah, Jai V. Kapadia, *Study on Bamboo as Reinforcement in Cement Concreate*, International Jornal of Engineering Research and Application (IJERA) vol 3, 2013
- Mazakazu Terai & Koichi Minami, *Research and Development on Bamboo Reinforced Concreate Structure*, Fukuyama University Japan, Lisboa 2012
- Morisco. 1999. *Rekayasa Bambu*. Nafiri Offset. Jakarta
- Park R, Paulay T, *Reinnforced Concrete Structure*, John Willay & Son, Inc Canada, 1975
- Priskasari Ester, Erfan Mohammad, Santoso Agus, Manaha Yosimson, *Kekuatan Lekatan (Bond) Dan Panjang Penyaluran dan Model Keruntuhan Balok Lentur dengan Tulangan Cold Rolled & Twisted Bar (CRT)*, Seminar Nasional FTSP 2014
- Z. Huang, B. Engstrom, J. Magnusson, *Bond Between Reinforcing Steel and High Strength Concrete*, 4th International Symposium on Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete, Paris, 1996

RIWAYAT HIDUP



Hadi Surya Wibawanto S., Lahir di Kab. Waingapu Provinsi Nusa Tenggara Timur pada tanggal 01 Mei 1996 dari ayah Drs. Sunarwadi dan ibu Dra. Sri Hartatik. Penulis adalah putra kedua dari dua bersaudara, kakak dari penulis bernama dr. Irasiqin Wibawanto S. Penulis pertama kali masuk pendidikan Formal di tahun 2001 dan tamat pada tahun 2007 di SDI V Waikabubak. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan ke SMP Negeri 03 Waikabubak dan tamat pada tahun 2010. Setelah tamat di SLTP, penulis melanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Akhir dan tamat pada tahun 2013 dari SMA Negeri 2 Batu Jawa Timur. Pada tahun yang sama pula penulis mendaftarkan diri sebagai mahasiswa dan lulus seleksi masuk di Institut Teknologi Nasional Malang (ITN Malang) dan memilih

Program Studi Teknik Sipil S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Penulis menjalani masa studinya selama 3,5 tahun atau Tujuh Semester.

Selama masa perkuliahan di semester IV hingga masa lulus studi penulis pernah menjadi asisten praktikum Laboratorium Mekanika Tanah, asisten mata kuliah dan tugas besar Statika, asisten mata kuliah dan tugas besar Analisa Struktur 1, asisten mata kuliah dan tugas besar Analisa Struktur 2 di Program Studi Teknik Sipil S-1. Selain itu pula penulis pernah menjadi asisten mata kuliah Rekayasa Struktur di Program Studi Teknik Lingkungan.

Penulis sangat menyadari akan pentingnya penggalan potensi didalam diri, sehingga penulis pernah aktif menjadi delegasi kampus untuk mengikuti berbagai kegiatan perlombaan akademis diluar kampus. Adapun hasil dari yang pernah diikuti adalah Juara Harapan LKTI pada acara CivilFest UPN Surabaya tahun 2016, Grand Finalis 10 besar pada acara CivilExpo UNJ Jakarta tahun 2016, Grand Finalis 10 besar pada acara Lomba Gambar Teknik Student day Polinema Malang tahun 2016, Pemenang 30 besar LKTI HUT PT. Pertamina (Persero) ke- 59. Selain itu juga penulis pernah berpartisipasi aktif dalam Lomba Kuat Tekan Beton Univ. Kristen Petra pada tahun 2014 dan 2015, Lomba Perancangan Jembatan (*Bridge Competition*) Univ. Kristen Petra pada tahun 2015 dan Lomba Perancangan Gedung Tahan Gempa (*Earthquake Competition*) pada tahun 2015.

Menurut penulis, bahwa di masa perkuliahannya merupakan tempat dan waktu untuk pengembangan diri yang paling produktif. Penulis pernah aktif sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Sipil S-1 periode ke XVIII sebagai Anggota Bidang Penalaran dan Keilmuan Divisi Pengembangan Studi. Setelah itu penulis kembali dipercaya untuk menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Sipil S-1 periode ke XIX sebagai Ketua Bidang Penalaran dan Keilmuan. Penulis juga memiliki riwayat organisasi kepanitiaan pada beberapa kegiatan yaitu pernah menjadi Ketua Pelaksana Kuliah Lapangan tahun 2015 serta juga dipercaya menjadi Ketua Pelaksana ECIVE (*Education of Civil Engineering*) tahun 2015. Selain itu juga penulis aktif menjadi kepanitiaan dalam program kerja HMS di periode ke XVII hingga periode ke XX.

Penulis pernah melaksanakan Praktik Kerja Nyata pada “Proyek Pembangunan Prasarana Jalan Hotmix Dan Drainase Kampus II Universitas Brawijaya Malang”, dibawah bimbingan Konsultan Pengawas CV. Proyeksi pada Bulan Agustus – September 2016. Tugas Akhir yang dilaksanakan dan disusun oleh penulis adalah berjudul “Pengaruh Letak Pengasaran Permukaan Tulangan Bambu dan Sambungan Lewatan Pada Konstruksi Balok Lentur” yang telah dirampungkan pada Bulan Februari 2017.



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Lamp. Lap. No :
 Pekerjaan :
 Permintaan :

Dihitung :
 Dikerjakan :

PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON

No.	Kode Benda Uji	No Benda Uji	Umur (hari)	Bentuk benda uji	Berat (kg)	Tekanan hancur (N)	Teg. Hancur riil (Mpa)	Teg. Hancur 28 hari (Mpa)
1	Polos	1	28	Silinder 15 x 30	12.14	378000	21.401	21.401
2		2	28	Silinder 15 x 30	12.28	365000	20.665	20.665
3		3	28	Silinder 15 x 30	12.37	375000	21.231	21.231
4	Full	4	28	Silinder 15 x 30	12.43	383000	21.684	21.684
5		5	28	Silinder 15 x 30	12.35	369000	20.892	20.892
6		6	28	Silinder 15 x 30	12.44	371000	21.005	21.005
7	U - T - U	7	28	Silinder 15 x 30	12.51	384000	21.741	21.741
8		8	28	Silinder 15 x 30	12.45	395000	22.364	22.364
9		9	28	Silinder 15 x 30	12.35	379000	21.458	21.458
10	U - U	10	28	Silinder 15 x 30	12.12	381000	21.571	21.571
11		11	28	Silinder 15 x 30	12.98	385000	21.798	21.798
12		12	28	Silinder 15 x 30	11.56	389000	22.024	22.024
13	Ls 1	13	28	Silinder 15 x 30	11.75	371000	21.005	21.005
14		14	28	Silinder 15 x 30	12.45	375000	21.231	21.231
15		15	28	Silinder 15 x 30	12.02	385000	21.798	21.798
16	Ls 2	16	28	Silinder 15 x 30	12.08	364000	20.609	20.609
17		17	28	Silinder 15 x 30	12.34	391000	22.137	22.137
18		18	28	Silinder 15 x 30	12.23	382000	21.628	21.628
19	Ls 3	19	28	Silinder 15 x 30	12.11	375000	21.231	21.231
20		20	28	Silinder 15 x 30	12.34	389000	22.024	22.024
21		21	28	Silinder 15 x 30	12.50	379000	21.458	21.458



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Lamp. Lap. No :
Pekerjaan :

Dihitung :
Dikerjakan :
Tanggal :

BERAT ISI AGREGAT KASAR

LEPAS / GEMBUR			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji	(gr)	20320	20120	20070
B.	Berat tempat	(gr)	7870	7870	7870
C.	Berat benda uji	(gr)	12450	12250	12200
D.	Isi tempat	(cm ³)	10000	10000	10000
E.	Berat isi benda uji	(gr/cm ³)	1.245	1.225	1.220
F.	Berat isi benda uji rata-rata	(gr/cm ³)	1.230		

P A D A T			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji	(gr)	21060	21290	21170
B.	Berat tempat	(gr)	7870	7870	7870
C.	Berat benda uji	(gr)	13190	13420	13300
D.	Isi tempat	(cm ³)	10000	10000	10000
E.	Berat isi benda uji	(gr/cm ³)	1.319	1.342	1.330
F.	Berat isi benda uji rata-rata	(gr/cm ³)	1.330		



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Lamp. Lap. No :
Pekerjaan :

Dihitung :
Dikerjakan :
Tanggal :

BERAT ISI AGREGAT HALUS

LEPAS / GEMBUR			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji	(gr)	8560	8270	8320
B.	Berat tempat	(gr)	3550	3550	3550
C.	Berat benda uji	(gr)	5010	4720	4770
D.	Isi tempat	(cm ³)	3000	3000	3000
E.	Berat isi benda uji	(gr/cm ³)	1.670	1.573	1.590
F.	Berat isi benda uji rata-rata	(gr/cm ³)	1.611		

P A D A T			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji	(gr)	8820	8810	8740
B.	Berat tempat	(gr)	3550	3550	3550
C.	Berat benda uji	(gr)	5270	5260	5190
D.	Isi tempat	(cm ³)	3000	3000	3000
E.	Berat isi benda uji	(gr/cm ³)	1.757	1.753	1.730
F.	Berat isi benda uji rata-rata	(gr/cm ³)	1.747		



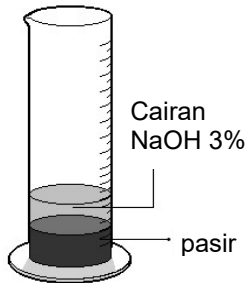
LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Lamp. Lap. No :
Pekerjaan :

Dihitung :
Dikerjakan :
Tanggal :

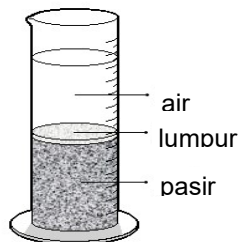
KADAR ZAT ORGANIK AGREGAT HALUS



Warna cairan NaOH 3% setelah gelas ukur + pasir
didiamkan selama 24 jam = Bening

Warna	Penurunan kekuatan
bening	0%
kuning muda	0 - 5 %
kuning tua	5 - 10 %
coklat muda	10 - 15 %
coklat tua	15 - 20 %
coklat merah	20 - 25 %
hitam	25 - 30 %

KADAR LUMPUR AGREGAT HALUS



Dari percobaan yang dilaksanakan didapatkan :

V_1 = tinggi pasir = 405ml

V_2 = tinggi lumpur = 5 ml

$$\begin{aligned}\text{Kadar lumpur} &= \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\% \\ &= 1.2\%\end{aligned}$$



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Lamp.Surat /Lap. No :
Pekerjaan :

Dihitung :
Dikerjakan :
Tanggal :

KADAR AIR AGREGAT KASAR

		ASLI		SSD	
	Nomor test	C	E	1	2
A.	Berat tempat (gr)	2500	2500	158.1	276.2
B.	Berat tempat + contoh (gr)	22500	22500	4190.5	4600
C.	Berat tempat + contoh kering oven (gr)	21130	21090	3966.9	4348.5
D.	Kadar air = $\frac{B - C}{C - A} \times 100\%$ (%)	7.35	7.58	5.87	6.18
E.	Kadar air rata-rata (%)	7.469		6.023	

KADAR AIR AGREGAT HALUS

		ASLI		SSD	
	Nomor test	A	B	merah	biru
A.	Berat tempat (gr)	2500	2500	237.9	249.3
B.	Berat tempat + contoh (gr)	12500	12500	956.8	987
C.	Berat tempat + contoh kering ove (gr)	12100	12090	935.8	965
D.	Kadar air = $\frac{B - C}{C - A} \times 100\%$ (%)	4.167	4.275	3.009	3.074
E.	Kadar air rata-rata (%)	4.221		3.04	



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Lamp.Lap. No :
Pekerjaan :

Dihitung :
Dikerjakan :
Tanggal :

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	B _k	4937	4907	4922
Berat contoh kering permukaan jenuh	B _j	5000	5000	5000
Berat contoh di dalam air	B _a	2961.3	2931.2	2946.25
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2.422	2.372	2.397
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2.453	2.417	2.435
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2.499	2.484	2.491
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	1.276	1.895	1.586



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Lamp. Lap. No :
Pekerjaan :

Dihitung :
Dikerjakan :
Tanggal :

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	B _k	489.80	496.70	493.25
Berat contoh kering permukaan jenuh	B _j	500.00	500.00	500.00
Berat piknometer diisi air pada 25°C	B	666.80	662.80	664.80
Berat piknometer + contoh + air (25°C)	B _t	978.80	976.50	977.65
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{(B + B_j - B_t)}$	2.605	2.666	2.636
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{(B + B_j - B_t)}$	2.660	2.684	2.672
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$	2.605	2.666	2.636
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	2.082	0.664	1.373

Lampiran 2. Contoh Perhitungan

1. Menghitung Panjang Penyaluran Tulangan dan Sambungan Lewatan

Diketahui :

- d_b = 10 mm (diameter nominal)
- f_s = 110 MPa (Tegangan tarik bambu)
- μ = 3,38 MPa (Tegangan lekat tulangan bambu lilitan 1,2 mm spasi 3 mm)

Perhitungan :

a. Panjang Penyaluran

$$\begin{aligned} L_d &= \frac{d_b \times f_s}{4 \times \mu} \\ &= \frac{10 \times 110}{4 \times 3,381} \\ &= 89,0 \text{ mm} = 8,9 \text{ cm} \end{aligned}$$

b. Sambungan Lewatan

$$\begin{aligned} 1,0 L_d &= 8,9 \text{ cm} \\ 1,3 L_d &= 1,3 \times 8,9 \\ &= 11,6 \text{ cm} \\ 1,7 L_d &= 1,7 \times 8,9 \\ &= 15,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

2. Contoh Perhitungan Lendutan Teoritis (Benda uji tanpa lilitan/ polos)

Diketahui :

- F_c' = 21,401 MPa (pengujian kuat tekan beton)
- W_c = 2291,106 kg/m³ (berat isi beton benda uji)
- E_c = $(w_c)^{1,5} 0,0043(\sqrt{f_c'})$
= $(2291,106)^{1,5} 0,0043(\sqrt{21,401})$
= 21815 N/mm²
- E_s bambu = 5729,17 MPa
- n = E_s / E_c
= 5729,17 / 21815
= 0,26262
- b = 80 mm (lebar balok)
- h = 120 mm (tinggi balok)
- d = 102 mm (tinggi efektif balok)
- Menghitung nilai Momen inersia *gross*, untuk mengetahui momen inersia pada penampang utuh (tidak terjadi transformasi)

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 80 \times 120^3 \\ &= 11520000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Menghitung momen retak

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= \frac{f_r \times I_g}{y_t} \\
 &= \frac{(0,7 \times \sqrt{21,401}) \times 11520000}{60} \\
 &= 621,755 \text{ N.m}
 \end{aligned}$$

- Menghitung momen inersia retak

$$\frac{bc^2}{2} + nA_s c - nA_s d = 0$$

(Persamaan 8.6c, Halaman 262. Buku Edward G. Nawy)

Maka didapatkan :

$$\left(\frac{80 c^2}{2} \right) + (0,262 \times 157) c - (0,262 \times 157 \times 102) = 0$$

$$40 c^2 + 41,2321 c - 4205,7 = 0$$

Dengan menggunakan kalkulator program didapat nilai c pada persamaan tersebut :

$$C_1 = -7,5$$

$$C_2 = 9,74$$

Maka digunakan nilai yang positif yakni : $C = 9,74$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 I_{cr} &= \frac{bc^3}{3} + nA_s(d - c^2) \\
 &= \frac{80 \times 9,74^3}{3} + 0,262 \times 157 (102 - 9,74^2) \\
 &= 375603,7 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- Menghitung momen inersia efektif

(contoh pada momen yang terjadi/ M_{maks} adalah 686,3 N.m)

$$I_e = \left(\frac{621,755}{686,3} \right)^3 \times 11520000 + \left[1 - \left(\frac{621,755}{686,3} \right)^3 \right] \times 375603,7$$

$$= 8662116 \text{ mm}^4$$

- Menghitung lendutan teoritis yang terjadi

(contoh pada momen yang terjadi/ M_{maks} adalah 3090 N.m)

$$\delta = \left(\frac{P \cdot l^3}{24 E_c I_{eff}} \right) \left(\frac{3a}{L} - \frac{4a^3}{L^3} \right) + \left(\frac{5 \cdot q L^3}{384 E_c I_{eff}} \right)$$

$$= \left(\frac{3090 \cdot 1200^3}{24 \times 21815 \times 8662116} \right) \left(\frac{3(500)}{1200} - \frac{4(500)^3}{1200^3} \right) +$$

$$\left(\frac{5 \cdot 0,2304 \cdot 1200^3}{384 \times 21815 \times 8662116} \right)$$

$$= 1,13 \text{ mm}$$

Lampiran 3. Dokumentasi Pelaksanaan Penelitian

1. Persiapan Tulangan Longitudinal (Tulangan Bambu)



Gambar 1.1 Pemilihan bambu petung yang telah berumur ± 3 tahun dan diangin - anginkan



Gambar 1.2 Bambu utuh kemudian dipotong dan diserut. Selanjutnya permukaan bambu dilapisi dengan Lem Epoxy sebagai lapisan *waterproof*



Gambar 1.3 Proses meliliti permukaan tulangan bambu menggunakan kawat aluminium dengan diameter 1,2 mm jarak spasi 3 mm



Gambar 1.4 Detail dari permukaan tulangan bambu yang telah diberi pengasaran dengan menggunakan lilitan kawat

2. Pengujian Material (uji tarik bambu)



Gambar 2.1 Benda uji setelah dilakukan pembubutan daerah specimen



Gambar 2.2 Pengujian tarik benda uji dengan alat *Universal Testing Machine*

3. Persiapan tulangan geser/ tulangan sengkang



Gambar 3.1 Pemotongan kawat aluminium diameter 2,75 mm sebagai tulangan geser/ tulangan sengkang



Gambar 3.2 Pembengkokan tulangan geser/ tulangan sengkang dengan sudut siku (90°)

4. Perlakuan pengasaran permukaan



Gambar 4.1 Pemasangan tulangan longitudinal dengan perlakuan tanpa pengasaran (polos)



Gambar 4.2 Pemasangan tulangan longitudinal dengan perlakuan pengasaran

5. Membuat acuan cetakan (*Begisting*)



Gambar 5.1 Pemasangan tulangan longitudinal dengan perlakuan pada sambungan tulangan



Gambar 5.2 Variasi sambungan tulangan lewat

6. Membuat acuan cetakan (*Begisting*)



Gambar 6.1 Pengukuran dan pemotongan triplek 9mm sebagai acuan begisting balok



Gambar 6.2 Perakitan acuan begisting balok

7. Menyiapkan komposisi adukan beton



Gambar 7.1 Penyortiran agregat kasar maksimum 10 mm



Gambar 7.2 Penimbangan material penyusun beton sesuai dengan *mix design*

8. Proses Mixing dan Pencetakan



Gambar 8.1 Pengujian *Slump* untuk mengetahui kelecakan beton segar



Gambar 8.2 Proses pencetakan adukan beton kedalam cetakan/ begisiting balok

9. Proses Perawatan Beton



Gambar 9.1 Proses perawatan beton (*Curing*) dengan cara perendaman kurang lebih 14 hari lalu diangkat dan ditutup plastik hingga umur beton 28 hari

10. Proses Pengujian Kuat Tekan Beton



Gambar 10.1 Benda uji setelah dilakukan *capping*



Gambar 10.2 Pengujian benda uji dengan alat compression testing machine

11. Proses Pengujian Kuat Tekan Lentur Benda Uji Balok



Gambar 11.1 Bending untuk pembagi beban dengan jarak 20 cm



Gambar 11.2 Alat Strain meter untuk pembacaan beban (*load*) dan regangan dari *strain gauge*



Gambar 11.3 Pemasangan *Dial Gauge* untuk mengukur lendutan balok



Gambar 11.4 Pembacaan *Dial Gauge* dan penggambaran pola retak balok



Gambar 11.5 Proses pembebanan lentur benda uji



Gambar 11.6 Pola retak balok setelah pengujian



Gambar 11.6 Tulangan longitudinal tarik yang patah pada daerah ruas setelah pengujian (runtuh)

12. Proses pemasangan strain gauge



Gambar 12.1 pemasangan pada bambu lilitan dibuka sekitar 5-7cm



Gambar 12.2 strain gauge di lem langsung pada bambu

12.3 proses pemasangan strain gauge pada beton



Gambar 12.4 sebelum pemasangan strain gauge, beton diampelas terlebih dahulu



Gambar 12.5 strain gauge dilem menggunakan lem kaca untuk melindungi dari gesekan

13 proses pembubutan bambu



Gambar 13.1 permukaan bambu di bubut dengan mesin



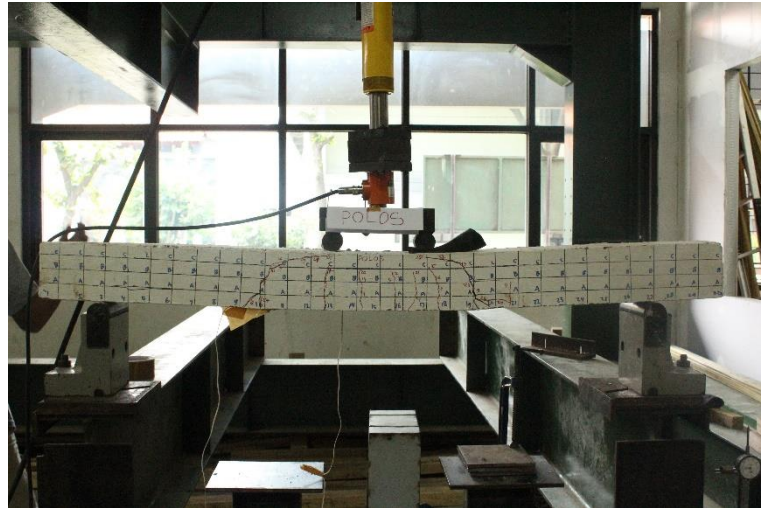
Gambar 13.2 Proses pembubutan bambu

13.3 Sampel bambu yang telah di bubut

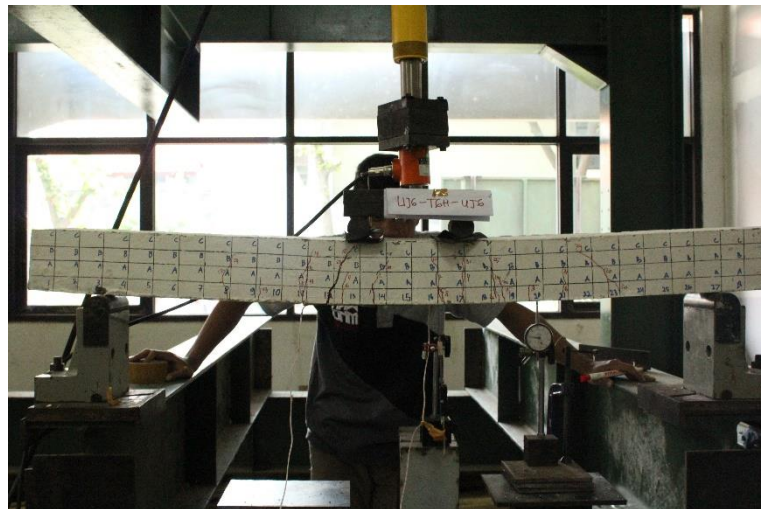


Gambar 13.4 bambu yang sudah dibubut diambil 6 sampel

14. Pola retak pengujian balok lentur



Gambar 14.1 pola retak bambu tanpa lilitan (polos)



Gambar 14.2 pola retak pengasaran ujung – tengah – ujung



Gambar 14.3 pola retak pengasaran ujung-ujung



Gambar 14.4 pola retak jenis sengkang 7,5cm



Gambar 14.5 pola retak lewatan sambungan (LS)



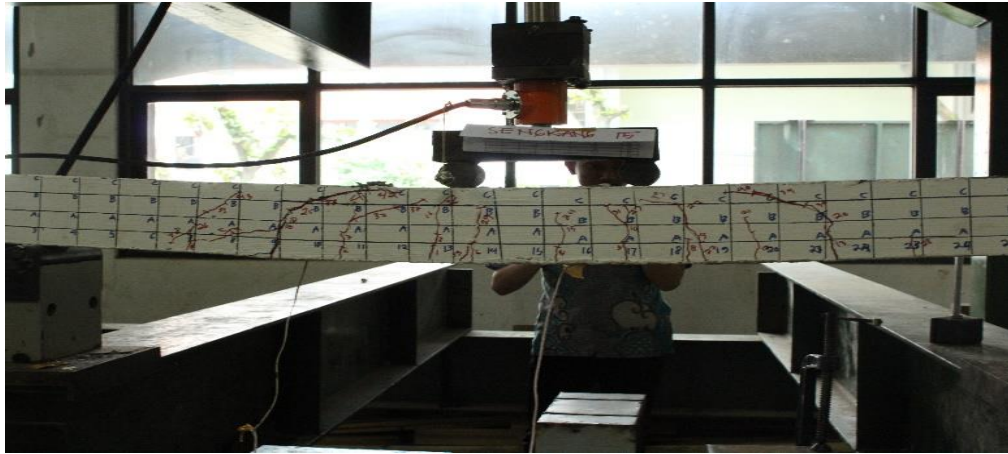
Gambar 14.6 patahan geser letak 40cm dari tumpuan



Gambar 14.7 pola retak pengasaran full

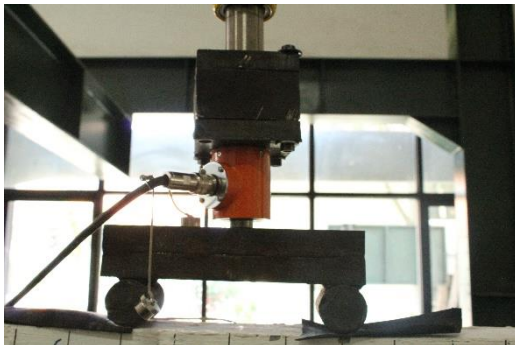


Gambar 14.8 pola retak jenis sengkang 10cm



Gambar 14.9 pola retak jenis sengkang 15 cm

15 Alat pengujian yang dipakai



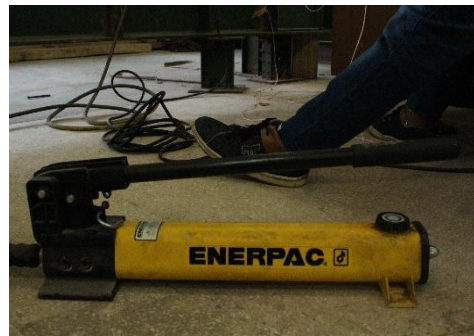
Gambar 15.1 alat *load cell*



Gambar 15.2 *hidrolic* untuk penekanan *load cell* ke benda uji



Gambar 15.3 pembacaan lendutan menggunakan *dial gauge*



Gambar 15.4 pompa untuk *hidrolic* dengan kapasitas 10000psi

16. Tumpuan Peletakan Benda Uji



Gambar 16.1 Asumsi Tumpuan Sendi



Gambar 16.2 Asumsi Tumpuan Roll